

24: 99



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

Compactación Vibratoria de Mezclas Asfálticas

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a :

ALFREDO MARTINEZ AGUIRRE

México, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

C O N T E N I D O

	Pag.
CAPITULO I. INTRODUCCION	1
CAPITULO II. SUPERFICIES ASFALTICAS	3
II.1.- TIPOS DE SUPERFICIES ASFALTICAS	4
II.2.- ASFALTOS	5
II.3.- AGREGADOS PETREOS	7
II.4.- ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE LOS PAVIMEN- TOS ASFALTICOS	13
II.5.- DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES	21
II.6.- ENSAYOS DE LABORATORIO	36
II.7.- ENSAYOS DE CAMPO	37
II.8.- ESPECIFICACIONES DE COMPACTACION	38
CAPITULO III. EQUIPO DE CONSTRUCCION	39
III.1.- PLANTAS DE ASFALTO	40
III.2.- EQUIPO DE TRANSPORTE	47
III.3.- EQUIPO DE TENDIDO Y COLOCACION (FINISHER)	48
III.4.- COMPACTADORES ESTATICOS AUTOPROPULSADOS DE RODILLOS METALICOS	51
III.5.- COMPACTADORES ESTATICOS AUTOPROPULSADOS MON TADOS SOBRE NEUMATICOS	52
III.6.- COMPACTADORES VIBRATORIOS MANUALES DE PLACA Y RODILLO METALICO	52
III.7.- COMPACTADORES VIBRATORIOS AUTOPROPULSADOS - DE DOBLE RODILLO METALICO	52
III.8.- COMPACTADORES VIBRATORIOS AUTOPROPULSADOS - MIXTOS DE RODILLO METALICO SIMPLE Y LLANTAS NEUMATICAS	52
CAPITULO IV. PROPIEDADES DE COMPACTACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS, EFECTOS DE LA TEMPERATURA	61

CAPITULO V.	TEORIA Y EFECTO DE LA COMPACTACION VIBRATORIA	75
CAPITULO VI.	CAPACIDAD DE LOS COMPACTADORES Y COSTOS UNITARIOS DE COMPACTACION	81
CAPITULO VII.	APLICACIONES PRINCIPALES	97
CAPITULO VIII	CONCLUSIONES GENERALES	106
	REFERENCIAS	108

CAPITULO I

I N T R O D U C C I O N

I. INTRODUCCION

El asfalto es un material usado en pavimentos y construcciones desde tiempos ancestrales. Desde 3800 años A. C., el asfalto fué usado como mortero para construcciones de piedra y bloques de pavimento. El descubrimiento y refinamiento de petróleo crudo fué el fin de la búsqueda de asfalto natural, ya que ahora, virtualmente todos los asfaltos provienen de petróleo crudo.

Cerca del 70% del asfalto consumido es usado para carreteras, vías rápidas, aeropuertos y otros pavimentos; 30% para techos, cisternas, tanques, albercas, campos escolares y de juego, así como también canchas de tenis y áreas de estacionamiento.

La compactación-proveniente del latín *compingere* que significa unir o juntar- desde el punto de vista de la ingeniería es el proceso o tratamiento artificial que se aplica a los suelos o como en nuestro caso a las mezclas asfálticas en las que por medio de un amasamiento variamos las propiedades de una mezcla, propiedades originales, como son la relación de vacíos y el contenido de agua, propiedades que afectan significativamente el volúmen.

La finalidad primordial de la compactación de las mezclas asfálticas es aumentar al máximo su capacidad de carga con la mínima deformabilidad, ya que el vertiginoso avance de las obras de ingeniería en cuanto a requerimientos se refiere, obliga a diseñar y construir mezclas asfálticas cada vez más resistentes al desgaste con capacidad de carga mayor con variables como la uniformidad, la flexibilidad, la impermeabilidad y la durabilidad, deseándose siempre alcanzar la compac-

tación óptima, ya que en cualquier obra de ingeniería, donde ésta intervenga será factor determinante de la eficiencia y vida útil de esta obra.

A pesar de reconocerse la importancia de la compactación de épocas inmemoriales, esta técnica sólo ha evolucionado y en forma intensa en los últimos treinta años, sin vislumbrarse un próximo fin de este desarrollo, lo que ha traído como consecuencia revolucionarios equipos que permiten una rentabilidad mayor cada día. Las mezclas asfálticas fueron compactadas originalmente con las grandes planchas estáticas que dieron paso posteriormente a los compactadores neumáticos que ofrecen ventajas de producción y costo comparados con los primeros. Los compactadores vibratorios aparecen recientemente en Europa, donde se les emplea con grandes ventajas y beneficios para trabajos masivos de compactación de mezclas asfálticas, surgiendo al mismo tiempo las primeras normas técnicas de uso adecuado para este equipo, técnica en perenne evolución.

CAPITULO II

SUPERFICIES ASFALTICAS

II. SUPERFICIES ASFALTICAS

Siendo algo fundamental para el diseño de las superficies asfálticas los métodos de laboratorio junto con las pruebas de campo, para llegar a los mejores resultados, se delinearán - los tipos más comunes de superficies asfálticas, el Método - Marshall, así como también los asfaltos, los agregados pé- - treos, las especificaciones de calidad en los pavimentos as- fálticos, el diseño de mezclas asfálticas calientes, ensayos de laboratorio, ensayos de campo y las especificaciones de - compactación.

II.1-TIPOS DE SUPERFICIES ASFALTICAS.- De una mezcla calien- te de agregados pétreos bien graduados y asfalto (o bi- tumen) se obtiene el concreto asfáltico, en el que este asfalto varía entre el 4 y el 7%, siendo los tipos más comunes de agregados la roca triturada, la roca natural - de río ó conglomerado, arena y filler o polvo mineral. La construcción de bases negras y carpetas de rodamien- to es el uso principal de las mezclas asfálticas. Uti- lizados principalmente en la pavimentación de calles, existen los tipos de mezcla asfáltica, como el "Asfalto- Arena" y el "Topeka", compuestos con roca triturada en- tre 4 mm. y 12 mm., arena filler y asfalto de baja pe- netración.

El asfalto está compuesto por hidrocarburos y sus deri- vados, pudiendo ser líquido, viscoso o sólido, no volá- til esta substancia que se ablanda gradualmente cuando se calienta, siendo su color negro o café oscuro y te- niendo como principal proveedor de este concreto asfál- tico al petróleo.

En los pavimentos flexibles la estabilidad mecánica ne-

cesaria para la mezcla asfáltica, la proporcionan los agregados pétreos, sabiendo que agregado es un término general empleado para designar a los componentes pétreos, como roca triturada, grava, arena y filler en una mezcla asfáltica.

II.2-ASFALTOS.- El petróleo crudo puede ser mecánico o naturalmente destilado, teniendo como resultado directo el asfalto.

Asfalto Natural. Este asfalto se forma cuando el crudo de petróleo sube a la superficie terrestre a través de grietas. La mayor parte de los asfaltos naturales están impregnados con un alto porcentaje de arcillas o de arena muy fina, recogida durante el viaje del crudo a través de la corteza terrestre.

Asfalto de Petróleo. Los asfaltos de petróleo se obtienen del crudo por destilación y son los mas corrientemente empleados. La destilación puede ser por vapor ó por aire. La primera produce un asfalto de pavimentación excelente mientras que la segunda da un asfalto de poco uso en pavimentación. Los asfaltos de base asfáltica son los mejores para la construcción de carreteras porque tienen características ligantes y de resistencia a la meteorización.

Los asfaltos de compactación se dividen en los cinco grupos siguientes:

1. Road oils o asfaltos líquidos de curado lento (SC)

NOTA: El Road Oil y el asfalto en polvo no se usan en México.

2. Asfaltos disueltos

Asfaltos disueltos de curado medio (FM)

Asfaltos disueltos de curado rápido (FM)

3. Cementos asfálticos
4. Emulsiones asfálticas
5. Asfaltos en polvo

Las principales características de cada uno de estos asfaltos los esbozaremos y asimismo, hacemos notar que hay una nueva clasificación de los asfaltos de pavimentación, misma que está por adoptarse.

Los Road Oils o asfaltos líquidos de curado lento pueden ser aceites residuales asfálticos, que contienen pocos o ningunos elementos volátiles, o pueden proceder de una mezcla de cemento asfáltico y aceites residuales. Varían desde el fluido de características ligantes pobres hasta un material muy viscoso de excelentes características ligantes que requiere calor para hacerse trabajable.

Los asfaltos disueltos de endurecimiento medio se obtienen mediante el fluxado de cemento asfáltico con kerosina, producto altamente volátil. La kerosina hace al asfalto trabajable a temperaturas relativamente bajas y se evapora al exponerse al aire o al calor, dejando libre el cemento asfáltico.

Los asfaltos disueltos de curado rápido se obtienen fluxando el cemento asfáltico con nafta o gasolina, productos mucho más volátiles que la kerosina, se llama a este tipo de cut-back de curado rápido. Los materiales SC y FM tienen la misma viscosidad.

El cemento asfáltico es un ligante denso que se emplea

en la preparación de mezclas asfálticas en caliente. Es seleccionado por el tipo de construcción, condiciones climatológicas y clase y naturaleza del tráfico que ha de soportar el pavimento.

Hay dos tipos de emulsiones asfálticas. El primero es la emulsión corriente, en la cual las partículas de - asfalto se dispersan en agua con la ayuda de un agente emulsionante. Es el tipo más usual. El segundo es la - emulsión inversa, en el cual pequeñas gotas de agua se dispersan en asfalto.

El polvo asfáltico se añade a los Road Oils bajo los efectos del calor y la presión, se unen lentamente con el aglomerante para producir un resultado de consistencia similar a la del cemento asfáltico. La ventaja principal del empleo de los asfaltos en polvo es que en realidad supera el uso del cemento asfáltico en mezcla fría.

11.3-AGREGADOS PETREOS.- Hay tres elementos que dependen entre sí y cada uno influye en la elección; estos elementos son el tipo de agregado y granulometría, el tipo de ligantes y el método de construcción. Algunos clasifican las superficies por la graduación del agregado, tales - como granulometría abierta o granulometría fina; otros por los ligantes como cut-backs o cemento asfáltico y - otros, por el sistema como mezclas sobre el camino o - mezclas en caliente. Estos tres elementos pueden dar lugar a confusiones sino se tiene muy en cuenta la influencia inmediata de cada uno de los tres elementos sobre los otros dos.

En las superficies bituminosas el agregado contribuye a su estabilidad mecánica, soporta el peso del tráfico y al mismo tiempo transmite las cargas al terreno de la

sub-base a una presión reducida. Los distintos tipos de agregados granulares corrientemente encontrados y adecuados para superficies bituminosas pueden ser clasificados como - -
sigue:

Arena.- Es un material de grano fino que procede de la desintegración natural de las rocas o de la trituración de areniscas fácilmente desmenuzables; la A.S.T.M. la define como aquella cuyo tamaño es entre 0.05 y 2.0 mm. Otros definen la arena como el material que pasa por la criba número 4 o de un cuarto de pulgada, en lugar de la número 10 y son muchos los contratistas, ingenieros y proyectistas que piensan de esta misma forma.

Hay diferentes tipos de arena, con diferente graduación y característica; arena de duna, arena de lago, arena de río, - arena de gravera, arena de mina, arena artificial.

Frecuentemente es necesario mezclar dos o más tipos de arena para obtener la graduación más adecuada para las mezclas bituminosas.

La arena de duna es un material fino arrastrado por el viento. Esta arena se usa principalmente como relleno de las - - mezclas en las graduaciones entre los tamices números 40 y - 100, pues las arenas más frecuentemente empleadas en la construcción bituminosa son deficitarias en estos tamaños.

La arena de lago o playa es de fina granulometría y compuesta principalmente de partículas redondeadas y suaves. Suele mezclarse con arena gruesa para completar su graduación.

La acción del agua y el rozamiento de unas partículas con - otras, hace que la arena de río no tenga un porcentaje alto de granos con ángulos agudos. Corrientemente está libre de arcilla de tamaños muy finos.

La arena de gravera se obtiene al separar de la grava por medio de cribas mecánicas que pasan el tamiz número 4. Esta clase de arena contiene a veces arcilla y tiene una graduación bastante completa, desde gruesa hasta muy fina.

La arena de mina contiene de un cero a un 12% de arcilla y cieno y tiene una graduación adecuada para la preparación del mortero asfáltico. (sand-asphalt).

La arena artificial es un material fino de tamaño inferior a la apertura del tamiz número 4 o de 1/4 de pulgada y que se obtiene al machacar grava o piedra. Se obtiene lavando, cribando o clasificando el material menudo eliminado por las cribas después de la trituración.

La grava natural es producida por la desintegración natural de las rocas, es de mayor tamaño que la arena siendo el punto de división entre estos dos materiales el tamiz número 4.

Se da el nombre de gravilla a cualquier grava limpia, ya sea de banco o de río con graduación de 1/4 a 1/2 pulgada.

La grava de río se encuentra en la casi totalidad de los torrentes y ríos y consiste en fragmentos de roca parcialmente redondeadas y suavizadas entre mezclados con arena de río y libres, generalmente, de arcilla y cieno. Los elementos mayores de 1/4 de pulgada se clasifican como grava de río y los granos menores de 1/4 de pulgada se llaman corrientemente arena de río.

La grava de mina se encuentra en depósitos naturales compuestos generalmente de un material pedregoso entremezclado con arena fina y arcilla. Los depósitos difieren ampliamente en cuanto a la proporción de material fino o grueso y se clasifican generalmente en arcilla pedregosa, arena pedregosa, grava arcillosa y grava arenosa.

Al producto que resulta del machaqueo artificial de rocas y cantos, tales como calisa, granito, basalto y cuarcita se le llama piedra triturada y puede hacerse graduada en cualquier tamaño empleando los distintos tipos existentes de machacadoras y cribas clasificadoras.

Al producto tal como sale de la trituración, sin ser cribado ni separado en tamaños se le llama piedra triturada revuelta. Sin embargo, puede usarse una criba primaria para separar los materiales demasiado grandes.

En muchos casos algunas de las diferentes clases de agregados enumerados se combinan para dar una granulometría que tenga características deseables necesarias para un determinado uso. Tiene gran importancia la graduación de los agregados, pues ellos influyen fundamentalmente en la estabilidad mecánica de la mezcla bituminosa.

Los agregados constituyen un elemento costoso en los presupuestos de construcción de carreteras a causa del gran tonelaje necesario, y uno de los factores más importantes de costo es el transporte de este gran tonelaje de materiales. Por consiguiente, al seleccionar un agregado siempre debe buscarse su economía en relación con la clase de servicio que ha de prestar la carretera, por ejemplo: deben tenerse en consideración los agregados que se encuentren en la localidad y estudiar su costo de preparación frente al de los agregados que se encuentran a mayor distancia y sus altos costos de transporte.

Hay tres amplias clasificaciones de agregados para mezclas bituminosas, según su graduación:

Agregados de graduación cerrada con tolerancia muy limitada.

Agregados de graduación cerrada y económica.

Agregados seleccionados para una graduación abierta.

Aunque los agregados se clasifican generalmente teniendo en cuenta su granulometría, también tiene una gran importancia en su estabilidad la forma y dureza de sus partículas. Son deseables las partículas duras y angulosas y menos deseables las lisas y alargadas.

Las dos primeras clasificaciones de agregados conducen a un mismo objetivo, un conglomerado denso y cerrado con una máxima resistencia mecánica. Su capacidad para alcanzar dicho objetivo es distinta, pues en el segundo grupo la resistencia mecánica se sacrifica en parte para poder utilizar agregados, ligantes y sistemas de construcción más económicos.

La tercera clasificación de agregados cubre una variedad de tamaños seleccionados para un objetivo distinto de un conglomerado denso y cerrado. Incluye las gravillas para capas de sellado, las piedras del macadam de graduación abierta, etc. En este grupo tiene la mayor importancia la dureza y angulosidad del agregado.

Las carreteras del primer orden requieren agregados de primera clase y un control máximo de las operaciones de alimentación y mezcla, es decir, agregados de graduación cerrada - con tolerancia muy limitada; esta construcción va asociada - con las super-carreteras y auto-pistas y con toda clase de - carreteras en que se requiera una capacidad de soporte suficiente para un tráfico intenso.

La construcción de carreteras de tipo intermedio es un método de "compromiso" seleccionado por lo general para redes -

de carreteras distritales y buenos caminos transitables en todo tiempo, con una capacidad de soporte alta, pero moderada, en que este tipo puede ser correlacionado directamente con la segunda clasificación amplia de agregados, es decir, agregados de graduación cerrada y económica. En general, la construcción de caminos de segundo orden puede correlacionarse directamente con la tercera clasificación amplia de agregados, es decir, agregados seleccionados para una graduación abierta.

Existen innumerables tendencias en relación con la graduación de agregados. Hay muchos que creen que se concede demasiada atención y gastos para obtener graduaciones exactas de las partículas gruesas, e insisten en que la estabilidad mecánica se obtiene más fácilmente cuidando las arenas finas y los elementos de relleno, considerando que los materiales gruesos tienen por misión simplemente ocupar espacio.

Otros, por el contrario, opinan que los gruesos deben ser cuidadosamente controlados para formar pirámides ó arcos, mientras que los finos constituyen simplemente un lecho de mortero que protege la totalidad de la mezcla.

El control de la tolerancia de granulometría se ejerce de las siguientes formas:

- 1) Seleccionando cuidadosamente la procedencia de cada clase de agregado;
- 2) Regulando cuidadosamente la preparación de cada clase de agregados en su lugar de origen;
- 3) Controlando mecánicamente la mezcla de los diferentes agregados en el lugar de fabricación del aglomerado asfáltico, y
- 4) Volviendo a cribar y a proporcionar los agregados combinados (cuando la mezcla incluye tamaños que pueden ser cribados económicamente) después de su secado y antes de añadirles el ligante.

II.4. ESPECIFICACIONES DE CALIDAD DE LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS.

Las especificaciones de calidad de los pavimentos asfálticos son las normas cuyo objetivo es mostrar que dicha carpetasfáltica cumplirá con buena calidad y mayor tiempo, - el uso para lo cual será construída , razón por la cual -- habrá que vigilar que el material pétreo cumpla cierta --- granulometría, hacer las pruebas de desgaste Los Angeles - que consiste en llenar un cilindro y algunas bolas de plo- mo, así, se puede probar la adherencia y el desgaste dada- la cantidad de asfalto que contenga la mezcla y saber si - son débiles las partículas pétreas, siendo esta última una prueba adecuada e importante, razón por lo que es muy con- siderada, sabiendo de antemano que el asfalto es un mate- rial bituminoso, sólido o semisólido, con propiedades aglu- tinantes y que se licúa gradualmente al calentarse.

Sabiendo que los pavimentos asfálticos tienen cementos - asfálticos, que son los asfaltos obtenidos por un proceso- de destilación del petróleo para eliminar a este sus sol- ventos volátiles y parte de los aceites. Asfaltos rebaja- dos de fraguado rápido, que son los materiales asfálticos- líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolven- te del tipo de la nafta o gasolina. Asfaltos rebajados de- fraguado medio, que son los materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del ti-

po del queroseno. Asfalto rebajado de fraguado lento, estos son los materiales asfálticos líquidos compuestos de un cemento asfáltico líquido y un disolvente de baja volatilidad o aceite ligero. Emulsiones asfálticas, que son los materiales asfálticos líquidos estables, formados por dos fases no miscibles, en las que la fase continua de la emulsión está formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de asfalto. Las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas si los glóbulos de asfalto tienen carga electro-negativa o catiónicas si los glóbulos de asfalto tienen carga electropositiva: las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento.

De acuerdo a la descripción de los componentes de las mezclas asfálticas antes mencionadas se realizan las siguientes pruebas que deberán satisfacer.

Para mejorar las características de adherencia entre el agregado pétreo y los materiales asfálticos se pueden emplear aditivos para que produzcan una actividad superficial iónica, por la que tiendan a incrementar la adherencia en la interfase entre el agregado pétreo y el material asfáltico conservándola aún en presencia del agua; aditivos que se aplican, generalmente, directo al material asfáltico, antes de mezclar éste con el agregado pétreo. Las mezclas asfálticas deberán sujetarse a las siguientes normas:

- 1) Las mezclas que se elaboren con cemento asfáltico, deberán cumplir con los requisitos que se señalan a continuación:
 - a) Para el método de Marshall con el siguiente cuadro.

CARACTERISTICAS.	USO DE LA MEZCLA ASFALTICA ELABORADA CON CEMENTO ASFALTICO	PARA CARRETERAS		PARA AERO- PISTAS.
		Tránsito diario en ambos sentidos		
		Hasta 2,000 vehículos pesados (a)	Más de 2,000 vehículos pesados (a)	
Número de golpes por cara	50	75	75
Estabilidad mínima, Kilogramos	Para carretas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo.	450	700	700
Flujo, en milímetros.	Para carpetas, capas de renivelación, Bases asfálticas y bacheo.	2-4.5	2-4	2-4
Por ciento de los vacíos en la mezcla, respecto al volumen - del espécimen. (b).	Para carpetas y mezclas de renivela- ción.	3-5	3-5	3-5
	Para bases asfálticas	3-8	3-8	3-8
Por ciento de vacíos en el a- gregado mineral (VAM), respec- to al volumen del espécimen de mezcla, de acuerdo con el ta- maño máximo del material pé- treo, mínimo. (b).	Para carpetas, 4.76 mm (Núm. 4) capas de reni- 6.35 mm (1/4") velación, ba-- 9.54 mm (3/8") ses asfálticas 12.7 mm (1/2") y bacheo. . . 19.0 mm (3/4") 25.4 mm (1")	18 17 16 15 14 13	18 17 16 15 14 13	18 17 16 15 14 13

a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

CARACTERISTICAS	PARA CARRETERAS		PARA AEROPISTAS	
	Tránsito diario en ambos sentidos en vehículos pesados (a)		Aviones con peso total en toneladas.	
	De 1000 a 2000	Más de 2000	Hasta 20	Más de 20
Valor del estabilómetro mínimo	35	37	37	40
Expansión en mm, máxi-- ma	0.76	0.76	0.76	0.76
Por ciento de vacíos -- en la mezcla, respecto- al volumen del espécimen mínimo.	4	4	4	4

2) Las mezclas que se elaboren con asfaltos rebajados o emulsiones, deberán cumplir para dicho objeto con los requisitos fijados en cuadro del método Marshall.

CARACTERISTICAS		PARA CARRETERAS TRANSITO DIARIO EN AMBOS SENTIDOS DE VEHICULOS PENSADOS. (b)			PARA AEROPISTAS PESO DE LOS AVIONES QUE OPERAN		OBSERVACIONES.
		Menos de 500	de 500 a 1000	Más de 1,000	Hasta 20 Toneladas	Más de 20 Toneladas	
Resistencia mínima en kg/cm ²		2.5	4.0	En general no debe usarse este tipo de mezclas.	5.0	En general no debe usarse este tipo de mezclas.	VALORES TENTATIVOS
Por ciento de vacíos, mínimo.-	Con material de graduación gruesa o fina.	7	7		En general no debe usarse este tipo de mezclas.		
	Con material de graduación, intermedia.	4	4		4		

b) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.

Las condiciones para uso adecuado de las mezclas asfálticas, se indican a continuación.

a) Los contenidos de humedad y disolventes para el tendido y compactación de mezcla asfáltica y el contenido de cemento asfáltico, deberán quedar dentro de los límites fijados en el siguiente cuadro.

MATERIAL ASFALTICO EMPLEADO EN LA ELABORACION DE LAS MEZCLAS	Tolerancia del contenido de cemento asfáltico con respecto al porcentaje de proyecto en peso	Contenido de Agua libre -- permitido. --- Por ciento en peso de la -- mezcla asfáltica.	Relación de disolventes a --- cemento asfáltico en peso. --- (valor k)
Cemento Asfáltico . .	± 5%	1	Cero
Asfalto rebajado . .	± 10%	1	0.05 a 0.08
Emulsión asfáltica con disolventes	± 10%	0.05 a 0.08
Emulsión asfáltica sin disolventes . . .	± 10%	Cero

b) Los espesores compactos de las capas, en relación con el tamaño máximo del material pétreo estarán de acuerdo al siguiente cuadro.

TAMAÑO MAXIMO DEL MATERIAL PETREO - EN mm.	ESPESOR COMPACTO DE LAS CAPAS DE CARPETAS - EN cm.	
	Mínimo	Máximo (a)
4.76 (Núm. 4)	2.0	3.0
6.35 (1/4")	2.0	3.5
9.52 (3/8")	3.0	4.0
12.70 (1/2")	3.0	5.0
19.03 (3/4")	3.0	6.0
25.40 (1")	4.0	7.0

c) La mezcla asfáltica deberá ser compactada al 95% mínimo de su peso volumétrico.

d) Las mezclas asfálticas usadas para carpetas deberán tener un valor de permeabilidad menor del 10%.

Para la fabricación de mortero asfáltico deberá tomarse en cuenta lo siguiente:

El agua que se utilice para dar la consistencia necesaria al mortero; deberá estar libre de materias extrañas y sales solubles que resulten perjudiciales. El mortero asfáltico deberá cumplir con lo que marca el siguiente cuadro -- en cuanto a proporcionamiento.

COMPONENTES	Por ciento, en peso (a)
Emulsión asfáltica de rompimiento lento	18 - 25
Agua para dar la consistencia necesaria a la mezcla.	10 - 15

(a) por ciento con respecto al peso seco del material pétreo.

Las carpetas construídas por el sistema de riego deberán tener un valor máximo de permeabilidad de 10%, efectuando la prueba inmediatamente después de que la carpeta se haya terminado de construir.

II.5 DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS CALIENTES. Describiremos

Definición de mezclas calientes.- Los pavimentos de asfalto de una mezcla caliente consiste de una mezcla uniforme de agregados recubiertos con cemento asfáltico, sabiendo que los agregados y el cemento asfáltico deben mezclarse de acuerdo a las especificaciones de una mezcla caliente, sabiendo que esta combinación -- con todos los constituyentes calientes, en proporciones especificadas y mezcladas, nos produce la mezcla asfáltica caliente, así se transporta al sitio de pavimentación, donde se esparce en una capa para compactar, capa que es uniforme y a la cual se le da su acabado. Esto se realiza cuando la mezcla está caliente aún y este material es compactado fuertemente hasta - llegar a una buena consolidación.

la combinación de asfalto y agregados en proporciones que den como resultado mezclas asfálticas satisfactorias.

Clasificación de Mezclas Calientes.- Las mezclas calientes para pavimentación pueden producirse de un amplio grado de combinaciones de agregados, teniendo en cuenta cada una de sus características particulares, especificaciones, designaciones y usos de construcción.

Acerca del lugar y el grado del uso del asfalto, las características principales de la mezcla están determinados por la granulometría de los agregados:

- a) Agregados gruesos (Se retienen en la criba # 8)
- b) Agregados finos (Pasan en la criba # 88)
- c) Polvos de roca (Pasan en la criba # 200)

El concreto asfáltico es un tipo de mezcla caliente - tal que requiere un estricto control y debe proporcionarse cuidadosamente. Es de alta calidad cuando se cuida la mezcla caliente de asfalto, cemento y una buena o alta calidad de los agregados; la compactación debe ser uniforme en las masas densas típicas para el grado de densidad del pavimento.

Consideraremos las propiedades de una mezcla de asfalto para una aplicación específica, éstas son:

- 1) Estabilidad
- 2) Durabilidad
- 3) Flexibilidad
- 4) Resistencia a la fatiga
- 5) Resistencia a los impactos
- 6) Impermeabilidad
- 7) Maniobrabilidad

ESTABILIDAD.- La habilidad de una mezcla asfáltica es para resistir la deformación por cargas sobre ella. - Los pavimentos inestables se caracterizan por agrietamientos, roturas y ondulamiento. La estabilidad depende de los siguientes factores: la fricción y la cohesión.

La fricción interna depende de la forma en una partícula, textura en la superficie, graduación de los agregados, densidad de la mezcla y calidad del asfalto.

La resistencia friccionante se incrementa con la superficie rugosa de los agregados, también se incrementa con el área de la partícula en contacto. La resistencia entrelazada depende del tamaño de la partícula y la forma. Para algunos agregados la estabilidad se incrementa con la densidad de las partículas confinadas, logradas por las graduaciones densas y adecuada compactación, un exceso de asfalto en la mezcla produce una lubricación de las partículas, por lo tanto, una baja en la fricción interna de los agregados.

La cohesión varía directamente con el grado de carga, el -- área de carga, y la viscosidad del asfalto. Varía intensamente con la temperatura un incremento en la cohesión, con un incremento en el contenido de asfalto tiene un máximo, pasando éste, decrece la cohesión.

DURABILIDAD.- La propiedad de una mezcla asfáltica que describe su habilidad a la resistencia de la desintegración por la intemperie y tráfico. Se incluye el intemperismo porque hace cambiar las características del asfalto, como la oxidación y volatización, cambios en el pavimento y agregados por la acción directa del agua incluyendo deshielo.

La durabilidad es generalmente encarecida por un alto contenido de asfalto, graduación de la densidad de los agregados y una buena compactación de las mezclas; considerando el espesor del asfalto y contenido de partículas de agregados.

El espesor de la capa de asfalto es mas resistente al desgaste. Otro argumento favorable acerca de la reducción del

asfalto es la reducción del tamaño de los poros y la interconexión de ellos en la terminación de la mezcla, haciendo más difícil que el aire y el agua entren en el interior de dicha mezcla.

La resistencia a la acción del agua requiere los siguientes factores: densidad y grado de los agregados, alto contenido de asfalto y adecuada compactación -es deseable usar agregados que retengan un contenido de asfalto en la presencia del agua. Si la mezcla es densa, desplaza el asfalto de los agregados por el agua, generalmente esto no ocurre.

Asfalto suficiente debe incorporarse a la mezcla, proveyéndola de propiedades adecuadas a la resistencia, la tracción ó las fuerzas abrasivas del tráfico; el asfalto insuficiente puede desalojarse de la superficie, también puede tener lugar la abración si el asfalto empieza a ser quebradizo. El acaloramiento del asfalto en los procesos de mezcla caliente es una causa de desquebrajamiento posterior, principal abración del pavimento actual.

Una mezcla que teniendo alto contenido de asfalto con vacíos completamente llenos, puede proveer lo último o máximo en durabilidad. Sin embargo, esto puede ser poco deseable desde el punto de vista de estabilidad.

Es frecuentemente necesario guardar el contenido asfáltico tan alto como sea posible mientras mantenga esta estabilidad adecuada.

FLEXIBILIDAD.- Es la habilidad de una mezcla asfáltica para conformar el gradual establecimiento y movimiento de la base y subgrado. Ocurren ocasionalmente establecimientos diferenciales en el llenado del terraplén. Es casi imposible el

desarrollo uniforme de la densidad en el lapso de construcción porque secciones o porciones del pavimento tienden a asentarse bajo el tráfico.

Generalmente, la flexibilidad de la mezcla de pavimento asfáltico es encarecida por altos contenidos de asfalto y relativamente por agregados mal graduados.

RESISTENCIA A LA FATIGA.- Las pruebas han demostrado que la cantidad de asfalto es extremadamente importante cuando consideramos la resistencia a la fatiga de mezclas de pavimento como una regla, el mayor contenido asfáltico es mayor resistencia a la fatiga. Varias pruebas indican que mezclas asfálticas de denso grado tienen más resistencia a la fatiga que mezclas de grado leve. Agregados convenientes permiten mayor contenido asfáltico sin causar flujo.

RESISTENCIA DE IMPACTO.- Los factores para obtener una alta resistencia al impacto son generalmente similares a los que se obtienen para alcanzar una alta estabilidad. La propiedad de los contenidos del asfalto con una textura de superficie rugosa son los que mas contribuyen, por lo tanto, no sólomente los agregados deben tener una textura rugosa, también la superficie obteniendo al mismo tiempo resistencia al desgaste.

IMPERMEABILIDAD.- La resistencia de un pavimento asfáltico que tiene paso de aire y agua tendientes a introducirse en la superficie, tienen indicativos valores para disminuir esa susceptibilidad en el compactado, evitando que esto sea significativo, existiendo también interconexión de los poros y la superficie.

Imprevisiones de este tipo son de extrema importancia para

la durabilidad en el compactado de mezclas asfálticas.

MANIOBRABILIDAD.- La facilidad con la que las mezclas deben estar aplanadas y compactadas cuidadosamente no es un problema. El diseño de las mezclas asfálticas es seleccionar y escoger los materiales para obtener las cualidades de diseño y las propiedades al terminar la construcción.

METODO MARSHALL PARA DISEÑO DE MEZCLAS

DESARROLLO Y APLICACION.- Los conceptos básicos del Método de Marshall para el diseño de mezclas de pavimentación, fueron formulados por Bruce Marshall, (ASTM D-1559). Este método es aplicable para mezclas calientes de asfalto para pavimentación, usando grados de penetración de cemento asfáltico y densidad contenida.

En el Método Marshall se tiene en cuenta:

- 1) La preparación de los especímenes de proyecto de chequeo.
- 2) Determinación de la gravedad específica de volumen.
- 3) Prueba de estabilidad y flujo
- 4) Análisis de densidad y poros.

El compactado standar del espécimen de prueba, de 4" de diámetro y 2.5" de altura es el que se usa en el Método Marshall para un procedimiento standar; las mediciones de peso del espécimen se hacen antes de la prueba.

La estabilidad es espécimen de prueba de la resistencia máxima de carga en pounds a 140°F. El valor de flujo es el movimiento total, o deformación en centésimas de pulgada, ocu--

rriendo cuando el espécimen está sin carga y durante la aplicación de la carga máxima de la prueba.

Un análisis de densidad y porosidad es hecho para cada espécimen cuando los datos de todos los especímenes son revisados, un contenido del diseño del asfalto puede ser seleccionado, o los datos ser una guía para una prueba mejor.

PREPARACION DE LOS ESPECIMENES DE PRUEBA.- El desarrollo acerca del procedimiento para la preparación de los especímenes es el siguiente:

- 1) Número de especímenes.
- 2) Preparación de los agregados
- 3) Determinación de la temperatura de mezclado y compactación.
- 4) Preparación del molde y marro
- 5) Preparación de mezclas
- 6) Compactación de especímenes
- 7) Enfriado y extracción de especímenes

NUMERO DE ESPECIMENES.- La determinación del contenido óptimo de asfalto debe estimarse primero por una serie de especímenes de prueba catalogados y checados para rangos diferentes de asfalto, viendo las pruebas se observa un valor óptimo de este valor de asfalto que debe variar en un 5%, incrementándose con dos pasos arriba o abajodel valor óptimo. Una prueba adecuada consta de tres especímenes, que es la que se usa constantemente para cada combinación de agregados y contenidos de asfalto.

PREPARACION DE LOS AGREGADOS.- Los agregados son secados a un peso constante y separados por tamaño o cribado. Normalmente todos los materiales pasan la malla 8" excepto los ma-

teriales finos: pueden estar mezclados por separado y fracciones del tamaño. Los agregados retenidos en la malla 8", se separan por fracción de tamaño de 1", 3/4" y 3/8" que son los tamaños de las mallas 4 y 8, formándose las fracciones de los agregados.

TEMPERATURAS DE MEZCLADO DE COMPACTACION.- La temperatura de referencia se escoge de una gráfica o de una carta de viscosidad contra temperatura de cemento asfáltico, las temperaturas seleccionadas para la mezcla y la compactación se desarrollan de las viscosidades del asfalto, considerando:

- a) Para el mezclado 170 ± 20 centi-stoks
(85 ± 10 SSF)
- b) Compactado 280 ± 20 centi-stoks (140 ± 15 SSF)

PREPARACION DEL MOLDE Y MARTILLO.- El molde y el martillo deben estar perfectamente limpios. Puede llenarse el plato de agua hirviendo o caliente a una temperatura entre 200 y 300°F, el molde y el martillo están secos antes de su uso y un pedazo de papel filtro cortado del tamaño y forma del molde antes de la mezcla en lugar del molde.

PREPARACION DE MEZCLAS.- Una cacerola es usada para cada espécimen, la propiedad acerca de los agregados de cada fracción de tamaño es pesada en la cacerola, siendo muy deseable que el espécimen tenga una altura de 2.5 ± 0.05 pulg., normalmente comprimido en 1200 gr. de agregados. Generalmente, se prepara un espécimen de prueba y, si este se rompe fuera de los límites especificados requiere revisión y ajuste de los agregados.

COMPACTACION DE ESPECIMENES.- El molde es ensamblado en lugar del papel filtro en el molde compactador, después de --

ser horneado es pasado al molde con una espátula que haga - cortes diametrales y horizontales y removiendo la superficie antes de que sea compactado y con temperatura correcta para compactación, si la horneada también está fría no es utilizable, el molde es ensamblado y fijado dentro del molde del pedestal de compactación.

ENFRIADO Y EXTRACCION.- Después de la compactación, se seca la base del plato y el collar y es enfriado con aire suficiente previendo deformaciones que pueda tener el molde, después de enfriado el espécimen es removido por un jack de extracción y se deja para la prueba del día siguiente.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.- Cada espécimen compactado es sometido a las siguientes pruebas:

- 1) Volúmen de gravedad específica.
- 2) Prueba de estabilidad y flujo.
- 3) Densidad y análisis de poros.

Mediciones de Bulk specific gravity pueden hacerse tan pronto como los especímenes estén compactados a la temperatura de la habitación. El desarrollo de estas pruebas es el siguiente:

- 1) Peso del espécimen en el aire.
- 2) Cubrimiento del espécimen con una parafina, si es necesario.
- 3) Peso del espécimen cubierto de parafina.
- 4) Peso del espécimen cubierto o no en el agua .
- 5) Determinación del volúmen específico gravitacional.

METODO DE HVEEM PARA DISEÑO DE MEZCLAS CALIENTES

El método de heveem es un procedimiento de laboratorio basado en dos propiedades del espécimen compactado; cohesión y fricción. La densidad y vacío del espécimen compactado se establece antes de la fricción con el estabilómetro. El estabilómetro es un tipo de prueba en el cual las fuerzas verticales son aplicadas y son dimensionadas, resultando presiones laterales. La prueba de cohesión es generalmente hecha siguiendo la -- prueba del estabilómetro. Esta es un tipo de prueba en la -- cual el espécimen falla en tensión.

APLICACION Y DESARROLLO.- El concepto del método de Hveem ha sido desarrollado y ha avanzado bajo la dirección de Francis N. Hveem, formador e investigador de la Ingeniería de Materiales e Investigación en California, División de Carreteras. La aplicación de la prueba se ha desarrollado a través de las investigaciones y en correlación con estudios de pavimentos asfálticos. El método es aplicable para mezclas usando ambos grados de penetración y líquidos asfálticos que contengan agregados de una pulgada como tamaño máximo. Se requieren ciertas modificaciones del método cuando se emplea asfalto líquido.

El método de Hveem también puede ser usado para el control de pavimentos asfálticos de mezclas calientes.

PLAN GENERAL DEL METODO.- Los materiales deben reunir las condiciones específicas del proyecto; el agregado tener la graduación específica que requiere el proyecto; la medida y el secado deben ser dentro de fracciones.

Carácter distintivo que incluye el método de Hveem.

- 1) Centrifugar la prueba del equivalente keroseno (CKE).
- 2) Preparación de la prueba usando el compactador Kneading.

- 3) Prueba de estabilidad.
- 4) Prueba de cohesión
- 5) Prueba de hinchado (o abultado)
- 6) Análisis de densidad y vaciado.

La prueba del CKE es una prueba en los agregados para estimar los requerimientos asfálticos de la mezcla. La prueba de cohesión, tensión ó resistencia de la mezcla compactada, así como la prueba del acultamiento, sirven para ver la capacidad de resistencia de la mezcla ante la acción del agua.

Prueba del Centrifugado:

- a) En copas para centrifugar con pantallas de papel filtro, se colocan 100 gramos simples de agregado.
- b) Pasando $3/8$ de pulg. de tamiz y retenido de tamaño No. 4 tienen lugar en el embudo de vidrio dos muestras de 100 gramos de agregados secos.
- c) La muestra y el embudo son sumergidos en aceite lubricante a temperatura por cinco minutos.
- d) La muestra y embudo son removidos y se seca por quince minutos a 140°F .
- e) La cantidad de aceite retenido es determinada por peso. Se expresa en tanto por ciento del peso de los agregados secos.
- f) La superficie constante K es determinada por uso del CKE y gravitación específica de los agregados finos.
- g) La superficie constante K es entonces determinada usando el porcentaje de aceite retenido, la gravedad específica y el porcentaje ordinario de agregados.

- h) El valor K es determinado entonces usando los valores K y KC, el área de la superficie de los agregados y el porcentaje ordinario de los agregados.
- i) El contenido de asfalto estimado de la mezcla en el asfalto líquido teniendo propiedades específicas, determinadas por el CKE, área de superficie calculada, agregados con aparente gravedad específica y superficie constante en kilómetros. Esto tiene dos posibilidades de procedimiento, dependiendo de la superficie y absorción características.
- j) El cemento asfáltico contenido en la mezcla es determinado por la penetración seleccionada, calculada para uso de la superficie.

Ejemplo:

Gravedad específica, agregado ordinario	2.45
Gravedad específica, agregado fino	2.64
Porcentaje No. 4	45.00
Gravedad específica promedio	2.53
Superficie de graduación del agregado	32.40 pies cúbicos por libra
CKE	5.6
Porcentaje de aceite ordinario	1.9
Determine Kf	1.25
Determine Ke	0.8

Determine km	1.10
Determine el radio de aceite del asfalto líquido (usando el caso II)	4.6%
Determine el contenido óptimo de asfalto -	5.7% por peso de agregado <u>se</u> co.

PREPARACION DE LA PRUEBA.- Se prepara una serie de pruebas - del estabilómetro. Para mezclas normales son preparados tres especímenes del contenido asfáltico óptimo, cada uno de 0.5%_ arriba y abajo del estimado óptimo.

La principal pieza del equipo es un compactador neumático - - kneading . El espécimen es compactado por una serie - de fuerzas individuales hechas inicialmente por un modelo no_ trabajado , el cual es capaz de ejercer una presión de 500 psi y mantenerla por cuatro segundos.

Las hornadas son preparadas de manera similar a la descrita. Dos de los especímenes preparados en el contenido asfáltico - óptimo son usados en la prueba del abultamiento. Para esta - prueba las hornadas consisten de 1000 gramos de agregado. -- Las otras hornadas son para especímenes compactados de cuatro pulg. de diámetro y 2.5 pulg. de espesor.

Después de que las hornadas han sido mezcladas, son puestas - en una corriente de aire quince horas a 140°F. Después la -- hornada es reencabezada a 230°F, antes de que esté lista para la compactación.

METODO DE HUBBARD-FIELD PARA DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.- Este método es un procedimiento empleado por el laboratorio - para designar mezclas asfálticas. El procedimiento fué desa- rollado originalmente para designar capas asfálticas y cemen

to asfáltico.

DESARROLLO Y APLICACION.- Prevost Hubbard y F. C. Field investigadores del Instituto del Asfalto, desarrollaron este método para designar mezclas asfálticas calientes.

Este método se aplica solamente en mezclas usando grados de penetración del asfalto y agregados tan finos como su paso por la criba No. 4 con un 65% que pasa por lo menos la criba No. 10.

ASPECTOS GENERALES DEL METODO.- El método general de prueba es designado en ASTM D1138 y AASHO T169. Como en otros métodos, los materiales deben primeramente complementar los requerimientos del proyecto y las especificaciones de gravitación de los agregados, el asfalto, asimismo, debe ser conocido para usarse en el análisis de vaciado.

Las características del método Hubbar-Field son:

- a) Preparación de la prueba de especímenes.
- b) Determinación de la densidad del volumen.
- c) Prueba de estabilidad.
- d) Análisis de densidad y vaciado.

La prueba de estabilidad consiste en punzar cizayas con la aplicación vertical de una carga al espécimen confinado a 140°F. y soportando una prueba de volumen con un orificio de 0.25 pulg. en un diámetro menor del espécimen compactado.

PREPARACION DE LA PRUEBA DE ESPECIMENES.- Para obtener el contenido óptimo del asfalto para un agregado, es necesario preparar una prueba de especímenes con diferentes contenidos asfálticos variando un 0.5% con incrementos arriba y abajo de lo estimado óptimo. El duplicado de los especímenes es mol-

deado para cada contenido asfáltico, para evitar errores en la mezcla. Cada espécimen debe ser de 2 pulg. de diámetro -- con una pulg. aproximadamente de altura. Se requieren 100 -- grms. de agregado aproximadamente por cada espécimen. Sin embargo, cada hornada debe contener suficiente material para -- preparar los especímenes.

PROCEDIMIENTO DE PRUEBA.- Primero todos los especímenes son pesados, en aire y después sumergidos en agua. Esto permite calcular la densidad del volúmen como ya se describió.

Los especímenes son puestos en un baño de agua a 140°F. por -- lo menos una hora. Un espécimen solo es puesto en el molde -- nueva. La fuerza es continuamente aplicada al espécimen en -- 2.4 pulg. por minuto hasta que se presente la falla o fractura.

Después se completa la prueba de estabilidad y vaciado hechas por una serie de pruebas. El promedio de la gravedad del volúmen es determinada por el contenido asfáltico de cada espécimen.

PRUEBA DE ESTABILIDAD Y FLUJO.- El equipo de la prueba de -- estabilidad y flujo consiste en una máquina de prueba Marshall y un baño de agua. La máquina de prueba de Marshall es una -- prueba de poder eléctrico cuando la carga es aplicada al espécimen a través de la cabeza superior en un tiemno compresivo -- de movimiento de dos pulg. por minuto. La magnitud de la -- fuerza es determinada por el atado dial del círculo calibrado. La fluidez es calibrada de cero, mientras el diámetro cilindrico de cuatro pulg. es en la prueba superior. El procedimiento es el siguiente:

- 1) Si usó parafina excesiva de cobertura removida -- para el espécimen.

- 2) El espécimen es introducido en el cuarto de agua de 30 a 40 minutos a 140°R.
- 3) La prueba de cabeza superior es limpiada y los caminos gufa, son ligeramente aceitados
- 4) El espécimen es removido del cuarto de agua y cuidadosamente secado. Después, es puesto en la prueba de máquina en posición de fluidez.
- 5) La fuerza es aplicada en un lapso de tiempo constante de dos pulg. por minuto, hasta que ocurra la falla; el punto de falla es donde se obtiene la máxima fuerza. En este punto se nota la fuerza dial la fluidez se eleva del camino gufa y el poder de la prueba de máquina es desviado.

11.6. ENSAYOS DE LABORATORIO.

DENSIDAD.- Si la mezcla no es densa suficientemente, el espécimen debe cubrirse con parafina para evitar la adherencia de agua al momento de introducirse y pasarse en esta. Es usualmente determinada en especímenes pesados en aire y agua.

DENSIDAD TEORICA.- Puede ser determinada por una prueba del "Picnómetro" la densidad teórica que es una densidad sólida de las mezclas de asfalto, como puede ser la densidad en el vacfo de contenido de aire en acero. La mezcla se disuelve en un solvente y en esta forma el aire se remueve varias veces a través de una bomba de vacfo.

EXTRACCION.- El bitumen debe separarse del agregado por el método de centrifugación y la mezcla disolverse en un solvente; con esta prueba se puede determinar el contenido y la graduación de bitumen del agregado.

PRUEBAS DE ADHESION Y DESCORTESAMIENTO.- Por varios métodos se controla la adhesión entre el agregado y el bitumen. En la prueba de descortesamiento, la muestra que se va a probar debe colocarse en un frasco lleno de agua al que se le dan vueltas cada quince minutos, para observar la ocurrencia del descortesamiento después de cada período.

RESISTENCIA AL USO.- Se puede determinar midiendo el uso en pruebas a las superficies por un rodillo con llantas reforzadas montadas en una máquina de pruebas especiales.

II.7. ENSAYOS DE CAMPO.

DENSIDAD Y GRADO DE COMPACTACION.- El método más común para controlar la densidad es el uso de un taladro de diamante para obtener pruebas de fondo de pavimento terminado.

Se da el radio de compactación como el radio entre la densidad (Y_f) del pavimento y una densidad de referencia; por ejemplo, la obtenida por compactación por el método de Marshall (Y_i).

$$\text{grado de compactación} = \frac{Y_f}{Y_i} \times 100\%$$

La densidad teórica se usa como densidad de referencia en algunas ocasiones.

CONTENIDO DE VACIOS DE AIRE.- Deben conocerse la densidad teórica y la densidad del pavimento para calcular el contenido de vacíos de aire; donde al saber que Y_f es la densidad del pavimento determinado en núcleo y P es la densidad teórica de la mezcla de asfalto, como puede ser la densidad cuando el contenido de vacíos de aire es cero y empleando la si----

guiente fórmula sabemos el contenido de vacíos de aire:

$$N \% = \frac{(Y_f)}{p} - 1 \times 100$$

ERRORES DE MEDICION.- Aparte del método de medición, -- las variaciones en la composición de la mezcla, así como del pavimento y la realización de compactación, contribuyen a las desviaciones en los resultados obtenidos. Por lo cual para determinar la densidad del contenido de aire, deben observarse las variaciones de los resultados. Regularmente de un alcance del 0.4% al 1.8% la desviación standard para el grado de compactación y el contenido de vacío de aire.

II.8 ESPECIFICACIONES DE COMPACTACION

Actualmente existen dos principales tipos de especificaciones de compactación, los cuales son: las especificaciones de método y las de resultado final.

En la mayoría de los Estados de la Unión Americana y en la mayoría de los países de Europa se utilizan las especificaciones de Resultado Final.

En las Especificaciones de Método se especifica y exige el tipo y peso de los compactadores, el número de éstos y el número de pasadas entre otras en tanto que en las Especificaciones de Resultado Final se exige un determinado grado de compactación, con referencia a una densidad determinada. También se usa comúnmente el Método de Marshall y se especifica de acuerdo con el tipo de pavimento un grado de compactación, que varía entre el 95 y 99% especificándose el contenido de vacíos de aire.

CAPITULO III.

EQUIPO DE CONSTRUCCION

III. EQUIPO DE CONSTRUCCION

El equipo de construcción es un factor importante para lograr los objetivos deseados: calidad de la compactación y el costo que representa esta compactación. Por esto debemos elegir un equipo adecuado para los fines que tenemos; así, tenemos unos materiales que mediante un proceso hacemos una superficie terminada, esto es: asfalto -- > agregados -- > aditivos -- > planta de asfalto -- > transporte -- > terminadoras -- > compactadoras -- > superficie terminada.

Para una economía máxima cada una de estas operaciones deben utilizarse con referencia a la capacidad estimada de producción, por lo cual, todos los eslabones de la cadena deben estar integrados uno con respecto al otro.

III.1. PLANTAS DE ASFALTO.- El empleo de los métodos de - - planta fija con agregados de granulometría cerrada y económica, se ha convertido rápidamente en la solución ideal para caminos bituminosos de alta calidad y bajo costo, pues no tiene el inconveniente de la mezcla en el camino, cuya gran capacidad puede muy pronto perderse al encontrar dificultades meteorológicas. Las plantas fijas modernas puede situarse en gravas o estaciones de mezcla cercanas al trabajo, con un costo mínimo y permite utilizar las facilidades - y ventajas del terminado mecánico.

Las plantas de asfalto constan de cinco partes principales:

- 1.- Secador.
- 2.- Cribas y tolvas para transportar y almacenar los diversos tamaños del agregado pétreo.

- 3.- Tanque para almacenar y calentar el asfalto.
- 4.- Dispositivos proporcionadores para dosificar con exactitud cada uno de los componentes que forman la mezcla.
- 5.- Mezcladora mecánica.

SECADOR.- El secador adecuado es aquel que desempeña su función en la capacidad deseada al menor costo, - es decir, la menor inversión y los mas bajos costos de operación.

Para lograr este resultado óptimo con el secador hay necesidad de equilibrar un gran número de factores correlacionados y de no entender bien la manera en que un factor afecta a otros factores, es muy fácil dejarse engañar por la promesa falsa de que la modificación de determinado rasgo ó característica aumenta considerablemente el rendimiento del secador; estos rasgos son: a) la mas baja inversión, o sea, bajo costo-- inicial, larga duración y alto precio de reventa; b) los más -- bajos costos de operación como son, la más baja mano de obra - los más bajos costos de conservación, el mas bajo consumo de -- fuerza, de costos de transporte e instalación, el más bajo consumo de combustible, el mínimo problema del polvo; por-- lo tanto, estos factores tienen un objetivo, la máxi-- ma capacidad.

De forma cilíndrica, que forma un pequeño ángulo con la horizontal, el tambor rotatorio largo de acero es el secador. Por medio de gases calientes producidos por un quemador de aceite se calienta y seca el agregado a medida que pasa a través del tambor, agregado que alimenta este tambor por el extremo mas alto.

Este equipo deberá estar equipado con un pirómetro - eléctrico en el conducto de descarga para registrar_ la temperatura del agregado al pasar a las cribas y_ a los depósitos de almacenamiento caliente.

El secador limita la producción por ser la parte de menor capacidad de la planta, por lo cual, los que tienen la capacidad de 50 o mas toneladas son los mas usados, pues contribuyen al aumento o mantenimiento de la producción.

CRIBAS Y TOLVAS.- Cuando sale del secador se hace pasar todo el material por las cribas, de esta forma se separa en tamaños adecuados dicho material, para lograr la composición deseada. Las cribas son vibratorias, horizontales o inclinadas, colocadas sobre las tolvas de materiales calientes.

Cada tamaño de material se descarga en una tolva que está provista de una compuerta directamente sobre la báscula así también, la compuerta impide la salida del material cuando está cerrada.

TANQUE DE ASFALTO.- Estan equipados con termómetro y los medios necesarios para tener en todo momento un positivo control de la temperatura del asfalto, las calderas y los tanques de almacenamiento del producto caliente que alimenta directamente el asfalto a la báscula. Deberán tener una capacidad para no menos de diez horas de funcionamiento de la planta y estarán calentadas a fuego directo y con camisas de vapor, las líneas y conexiones para el transporte del asfalto caliente de la caldera a la tolva de la báscula.

DISPOSITIVOS PARA PROPORCIONAMIENTO.- Estos aparatos consisten en un cajón o tolva para pesar el agregado y un cubo para pesar el cemento asfáltico. Este cajón se coloca abajo de la compuerta de la tolva de depósito del material caliente y directamente

arriba de las mezcladoras. Se puede equipar con un medidor de carátula o de brazo que deberá ser sensible hasta el 0.5% de carga máxima que se requiera para cada bachada. Cuando el medidor sea del tipo de brazo, deberá hacerse un brazo con un indicador de registro para cada uno de los tamaños del agregado que se va a pesar y un brazo que sirva como tara para nivelar la báscula.

El cubo para pesar cemento asfáltico deberá tener suficiente capacidad para contener no menos del 20% en peso del agregado necesario para una carga y estar provisto de camisa de vapor o equipado con unidades termoeléctricas aisladas para evitar acumulación de asfalto fino que causan cambios en el peso del cubo.

Para saber la tara después de cada operación de pesado, el cubo deberá suspenderse de la báscula, y, es conveniente que tenga una compuerta en la parte inferior para descarga total.

MEZCLADORA.- La de aspas, que consiste en una caja rectangular de acero con fondo semi-cilíndrico y una compuerta, es el tipo más común de mezcladora. Deberá tener una capacidad mínima de 910 kg. El espacio entre aspas y todas las partes fijas o removibles, no deberá exceder de 2 cm.

Si la mezcladora está cerrada, deberá tener una tapadera para evitar la pérdida de polvo. La mezcladora debe contar con un reloj automático para controlar el tiempo de mezclado.

Las plantas asfálticas continuas Barber-Greene tienen dispositivos de alarma o con interruptores automáticos para el caso de que llegue a fallar la alimentación de agregados o de asfalto. Además, se han previsto los medios de tomar muestras en cualquier momento para comprobar la graduación o la tasa de alimentación.

Para la producción de mezclas asfálticas en las que no se requie

re cribado o la separación de los agregados después del secado, se podrá emplear una planta para "un solo agregado". Toda revolutura de los diversos tamaños de agregados que se requieran, se efectúa antes del secado y una vez calentados estos agregados se depositan en una sola tolva. Bajo ésta hay un alimentador dotado de una compuerta ajustable, interconectado con la bomba dosificadora del asfalto, en la misma forma que se encuentra en las plantas de tipo superior.

Las plantas intermedias o para un solo agregado, ofrecen las ventajas del secado en planta fija. El control preciso del contenido de asfalto y una mezcla eficiente en el amasadero, esto para la producción de mezclas económicas de pavimentos en carreteras secundarias que no tengan que soportar el intenso tráfico de las autopistas. Ofrecen además, dichas plantas, la alternativa de poder emplear agregados baratos, disponibles localmente, para construir capas asfálticas de mayor espesor a fin de lograr la resistencia requerida por el tráfico.

Las modernas plantas asfálticas de producción continua ofrecen exactitud, rápido cambio de las mezclas y comprobación del peso de los materiales. Solo en este tipo de plantas se puede efectuar la interconexión mecánica de la dosificación de agregados y de asfalto. Por las interconexiones en esta planta se asegura la exactitud de las mezclas.

El tiempo de mezcla es el lapso que se requiere para lograr que el betún y los agregados se combinen adecuadamente a fin de construir una mezcla homogénea de partículas totalmente recubiertas de asfalto. El tiempo óptimo de mezcla, implica tanto el rendimiento como el costo, siendo muchos los factores variables que lo afectan, como son:

- a) Tipos de agregados, esto es, diseño de la mezcla, humedad de los agregados, humedad del ambiente y viscosidad del asfalto.

b) Diseño del amasadero, o sea la forma del amasadero la velocidad periférica de las puntas de las paletas y la forma y posición de éste.

c) De operación y sistema que implica el método de introducción del betún, el método para la adición de agregados, estado del equipo y tamaño del amasadero en relación a éste.

El tiempo total de una mezcla, según una especificación típica, es el intervalo del tiempo que transcurre desde que se cierra la compuerta de la tolva de pesado de los agregados y se abre la compuerta de descarga del amasadero. El tiempo total de mezcla se subdivide en un período de mezcla en seco y un período de mezcla húmeda. Considerando un lapso corto para la mezcla en seco cuando mucho, y en algunos casos en nada ayuda al logro de una mezcla completa.

En una planta asfáltica de tipo intermitente, el tiempo de mezcla requerido es uno de los factores que determina la producción. El rendimiento de la planta y producción diaria de toda la operación puede llegar a depender de este factor. Suponiendo que se cuenta con la capacidad suficiente para el secado y el cribado; un aumento en el tiempo de mezcla significa una baja en la producción. La planta asfáltica para mezclas continuas se diferencia de las de tipo intermitente en que es posible cambiar el ciclo de mezcla, o sea el tiempo de mezcla, sin que se afecte el tiempo de rendimiento de la planta.

En una planta para mezclas continuas, el proceso de mezclas se inicia en realidad con la mezcla de los agregados graduados que salen de cada compuerta de alimentación de la unidad clasificadora, y son llevados al elevador de cangilones que conducen a la mezcladora. Esta revoltura previa de los agregados logra una "mezcla en seco" muy completa. El betún es rociado sobre la cortina que forman los agregados al caer en el amasadero y por consiguiente

registra un recubrimiento de las partículas aún antes de que - -
principie el ciclo de la mezcla. Dicho ciclo termina cuando el
material es descargado.

En la mayoría de las especificaciones se exige que el tiempo de
mezcla se determine según la siguiente fórmula:

(Basado en agregados con un peso de 100 lbs. por pie cúbico)

$$\text{Tiempo de mezcla en segundos} = \frac{\text{capacidad fija del amasadero, lbs.}}{\text{rendimiento del amasadero en lbs.}}$$

Esta fórmula permite calcular el tiempo de mezcla con solo medir
el nivel del material a fin de determinar la carga fija y para --
calcular el tiempo de mezcla, lo sabemos de la siguiente manera:

$$T = \frac{K \quad V \quad W}{C}$$

fórmula básicamente para mezcladora continua
donde T es el tiempo de mezcla en segundos.

K es 1.8 (factor de conversión)

V es el volumen del material en el amasadero en pies³.

W es el peso del material en el amasadero lbs/pie³.

C es la capacidad de rendimiento de la mezcladora, tons./h.

- III.2. TRANSPORTES.- Los camiones, equipo de transporte de la mezcla, se deben revisar para evitar fugas o irregularidades profundas que - puedan dar lugar a adherencia del material que es perjudicial para la mezcla, ya que esta debe llegar a su lugar de empleo en condiciones idénticas a las que tenía al salir del mezclador de la - planta de asfalto, por lo cual se lubricará ligeramente la superficie interior de los camiones, con aceite delgado o con una solución de jabón, impidiendo que el material se pegue a las cajas de los mencionados camiones. Cualquiera de estos elementos puede-

ser perjudicial para la mezcla si se emplea en exceso. En cualquier caso, la caja del camión debe llenarse de tal forma que el material en exceso sea eliminado antes de cargar la mezcla, y también las cajas de los camiones de transporte deben estar cubiertas y aisladas.

III.3. EQUIPO DE TENDIDO Y COLOCACION (FINISHER).- Se tiene conocimiento de materiales asfálticos de mezcla caliente para compactación y extensión mecanizada desde los años 30's, como anteriormente -- mencionamos.

Pavimentos que han sido hechos económicamente para cientos de miles de caminos en el mundo y calles con pavimentos durables, pesados y tersos y concidentemente para ayudar en el fantástico crecimiento de la industria del asfalto.

Antes de los años treinta, los pavimentos asfálticos de varios tipos eran completados primariamente por métodos manuales. Mezclas asfálticas calientes, usadas principalmente en áreas urbanas, requerían largo número de obreros en un solo proyecto.

Barber-Greene, inventó, desarrolló y mostró la máquina que viajaba en rieles de acero.

Como los prototipos de los años treinta, el asfalto moderno con la máquina Finisher, es básicamente un tractor, el cual lleva los materiales asfálticos.

La máquina desarrolla tres funciones:

- 1.- Manuabilidad del material.- El material depositado en la tolva que es movido por el alimentador.
- 2.- Entrega de material .- La transparencia y tersura de la capa de material, son establecidos por el screed, según este uniforme, así como los componentes flotantes cortados y la --

mezcla compacta.

3.- Movimiento delantero.- Siendo propalado por la undad de control del tractor, la calidad completa -- del pavimento depende del complemento y balance de estas tres funciones inter-actuando. Por ejemplo, la función de compactación del screed provee los mejores resultados cuando:

- a) La velocidad de la máquina no varía.
- b) Cuando se provee de material al hopper receptor -- adecuadamente, así como constante.
- c) Cuando la distribución del material es uniforme y -- a nivel constante.
- d) Cuando variables que afectan al screed son puestas bajo control.
- e) Cuando las fuerzas compactantes en el screed son -- mantenidas a un nivel constante.

Sistema de control proporcional y funcionamiento.

Sistema de Control proporcional y on-off.- Desde la inroducción del Finisher en 1960 para los controles y -- grado automático para el asfalto, han sido introduci--das dos generaciones posteriores de sistemas de con--trol. La primera en 1964 aproximadamente y la segunda en 1970.

En la última instancia, la fricción y la rehabilita--ción de los sistemas han sido gratamente mejorados, -- brindando una respuesta veloz en proporción directa de la magnitud del disturbio detectado. Recientemente -- (1970), una modificación ya no requiere zona de operaci--ón nula y el sistema de respuesta es tan veloz que -- se aproxima a cero.

Antes de escoger un método particular o un procedimiento específico, deben ser considerados varios factores -- si se desean determinados resultados en las mejores --

condiciones:

- 1.- Condiciones de la superficie existente.
- 2.- La importancia de la adhesión del grado predeter--
minado.
- 3.- Mínimo espesor requerido.
- 4.- Cantidad de material apropiado para el proyecto.

Por ejemplo, es importante reconocer en cualquier pro-
yecto que envuelva una superficie regular, que debe --
ser provisto en la fase de planeación del proyecto, de
cantidades suficientes de material, guardando en mente
los requerimientos de un espesor mínimo de pavimento -
en todos los puntos.

III.4. COMPACTADORES ESTATICOS AUTOPROPULSADOS DE RODILLOS ME-
TALICOS.- Existen dos tipos de este compactador, sien-
do apisonadora tandem, que son:

1.- De dos ejes. Tienen peso que varía de tres a vein-
te toneladas. Generalmente tienen ruedas las trables.
Algunos de los tipos mas pequeños tienen neumáticos --
auxiliares para aumentar la facilidad de desplazamien-
to entre obras pequeñas; otras tienen solamente un ro-
dillo ancho con ruedas neumáticas auxiliares para ---
transporte.

2.- De tres ejes. El eje central se ha dispuesto de -
tal forma que gran parte del peso total de la apisona-
dora puede aplicarse sobre éste si así se desea en los
puntos altos. Estas apisonadoras tienen peso que va-
ría de diez a veinte toneladas o mas. Estan provistas
de una unidad motora separada para hacer vibrar el ro-
dillo central, funcionando por lo tanto, como combina-
ción de compactador vibratorio y apisonadora tandem.

III.5. COMPACTADORES ESTATICOS AUTOPROPULSADOS MONTADOS SOBRE NEUMATICOS.- Los compactadores estáticos autopropulsados montados sobre neumáticos, son de tipo tándem de tres, cuatro o cinco ruedas en la parte anterior y cuatro, cinco o seis en la posterior; su peso varía de tres a treinta y cinco toneladas; las ruedas generalmente oscilan, esto es, el eje puede moverse hacia arriba y hacia abajo.

III.6. COMPACTADORES VIBRATORIOS MANUALES DE PLACA Y RODILLO METALICO.- Este tipo de compactadores tienen un peso de 90 kgs. aproximadamente y tienen bastante uso para compactar las orillas de edificios, banquetas y otros; tienen una zapata que vibra y el apisonador es de gasolina.

III.7. COMPACTADORES VIBRATORIOS DE DOBLE RODILLO METALICO.- En este tipo de compactadores está el Dynapac CC 43 con un 50% de energía de compactación en cada rodillo y gran facilidad de compactar junto a muros; tiene un impacto dinámico total en alta amplitud de 32,000 kgs. y en baja amplitud de 21.000 kgs.

III.8. COMPACTADORES VIBRATORIOS AUTOPROPULSADOS MIXTOS DE RODILLO METALICO SIMPLE Y LLANTAS NEUMATICAS.- El compactador Dynapac CA-25A es la versión para el asfalto, tiene alta frecuencia de vibración llegando a 2400 vpm; da una densidad uniforme con buen acabado superficial, tiene como impacto dinámico de 15,300 kg. a 25,600 kg. siendo su peso estático de 9,600 kg.

El compactador Dynapac CA 15 tiene menores dimensiones que el anteriormente descrito, con muchas posibilidades de velocidad, lo cual da mayor eficiencia en diversas condiciones aunado a un rápido desplazamiento, y teniendo este compactador 1750 vpm como frecuencia de impacto de 15,900 kg a 18,600 kg.

CAPITULO IV

PROPIEDADES DE COMPACTACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS, EFECTOS DE LA TEMPERATURA.

IV. PROPIEDADES DE COMPACTACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS, EFECTOS DE LA TEMPERATURA.

Una mezcla asfáltica fundamentalmente, es el producto obtenido mediante la incorporación y distribución de un material uniforme en un pétreo.

Esta mezcla es de acuerdo con especificaciones y en amplio grado de combinaciones de tamaño de los agregados, para los diversos usos, ya construido, deseando que esta mezcla nos proporcione una durabilidad adecuada a las necesidades y costo de construcción y mantenimiento, que dependen de la estabilidad, resistencia de impacto, flexibilidad, etc., esto es, que resista la carga y no haya deformación en ella, así como también, que tenga una superficie rugosa y que el paso del aire y del agua no disminuyan su resistencia, siendo la temperatura la indicada, las propiedades y efectos de la temperatura los describimos a continuación.

Amplias diferencias en composición y propiedades muestran las mezclas asfálticas y son las propiedades de compactación, en mucho, dependientes de la graduación y de la forma de las partículas del agregado y la calidad del bitumen.

IV.1. COMPOSICION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS.- La compactación de la mezcla asfáltica, está, principalmente relacionada con las características señaladas a continuación:

- a) Fricción interna, determinada principalmente por el tamaño de la piedra, graduación y forma del agregado.

do.

b) Cohesión, creada por el bitumen.

c) Resistencia viscosa, creada también por el bitumen.

La forma de las partículas del agregado, tiene una influencia decisiva en la fricción interna y en esta forma también en las propiedades de compactación de la mezcla de asfalto.

Un contenido mas alto de piedra y el tamaño máximo de éstas son factores que intervienen para que las mezclas sean mas estables y ásperas. Se obtiene el mismo efecto si se usan bitúmenes mas sólidos. Se pueden usar aditivos estabilizantes, como el hule o el asbesto, especialmente, para los tipos de mezclas asfálticas con un alto contenido de piedra y bitumen.

Como valor de la compactibilidad de la mezcla asfáltica se usa la siguiente expresión:

$$K = \frac{\text{estabilidad}}{\text{flujo}}, \text{ donde } K \text{ puede}$$

ser caracterizada como un "módulo de compresibilidad" lo que da una medida de la compactibilidad de la mezcla. Un bajo valor de K puede significar que la mezcla sea suave y falta de suficiente estabilidad con un posible riesgo de que la superficie se rompa durante el uso del rodillo.

La viscosidad del bitumen aumenta cuando la temperatura decrece y la compactibilidad de la mezcla es afectada en un alto grado por la temperatura.

IV.2. FORMA DE EMPLEAR LA MEZCLA ASFALTICA.- El tiempo disponible para la compactación, depende de la tasa de enfriado de la mezcla, después de esparcirla. Los factores que determinan los patrones de enfriado son:

- a) Grosor de las capas.
- b) Temperatura ambiente.
- c) Temperatura del suelo.
- d) Condiciones de aire y lluvia.

Entre mas delgada sea la capa de asfalto, el enfriado será mas rápido. Al tener la tasa de enfriado rápido de capas delgadas de mezclas asfálticas, la compactación de pavimentos delgados a la densidad especificada puede ser, en práctica, muy difícil y la necesidad de equipo efectivo de compactación es tan grande para capas delgadas como para capas gruesas.

IV.3 EFECTOS DE LA TEMPERATURA.- La compactación de asfaltos es afectada por las condiciones de la temperatura. Normalmente se especifican las temperaturas de aplicación para diversos empleos de los materiales asfálticos (como se muestra en la siguiente tabla), pero como consecuencia de las variaciones de la viscosidad, el especificar únicamente la temperatura no es suficiente para hacer un uso adecuado de los materiales. Se recomienda que se tenga en cuenta la relación viscosidad-temperatura de cada material asfáltico antes de fijar la temperatura adecuada para el tipo de procedimiento constructivo empleado.

La viscosidad mas conveniente para la aplicación de las mezclas asfálticas depende de varios factores, entre los que podemos enumerar:

a) Tipo de aplicación (mezcla 6 riego)

b) Características y granulometría de los agregados.

c) Condiciones atmosféricas.

La temperatura mas adecuada para mezclado en instalación mezcladora, es aquélla a la cual la viscosidad del asfalto está comprendida entre 75 y 150 Sécund Sybolt Furol (SSF). La viscosidad mas adecuada para riego, está comprendida normalmente entre 25 y 100 SSF.

Las mezclas asfálticas, de acuerdo a sus características y condiciones de uso a que se destinan, deberán elaborarse con los materiales asfálticos que se fijan en el siguiente cuadro:

Material asfáltico	Empleo recomendable en la construcción de carpetas y sobrecarpetas.	
	Carreteras: Tránsito diario en ambos sentidos, en vehículos pesados (a)	Aeropistas: Aviones con peso total en toneladas.
Cemento asfáltico	mas de 1000	mas de 20
Asfalto rebajado	1000 máximo (b)	20 máximo (b)
Emulsión asfáltica con disolventes	1000 máximo (b)	20 máximo (b)
Emulsión asfáltica sin disolventes	1000 máximo	20 máximo

- a) Se consideran como vehículos pesados los camiones - en todos sus tipos y los autobuses.

- b) El empleo de las mezclas elaboradas con asfalto rebajado 6 con emulsión asfáltica con disolventes, -- que proporcionen textura lisa, deben limitarse a ca sos en que se tengan condiciones climáticas que per mitan efectuar el tendido y compactación de la mezcla con pocos disolventes, por esta misma razón, no deberán hacerse mezclas como las antes indicadas em pleando material pétreo de granulometría fina.

Las mezclas asfálticas deberán elaborarse con cemento_ asfáltico y las propiedades señaladas a continuación:

- 1) Para el procedimiento Marshall los contenidos en el siguiente cuadro.

Características	Uso de la mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico	Para carreteras tránsito diario en ambos sentidos		Para aeropistas
		Hasta 2000 vehículos pesados (a)	Mas de 200 vehículos pesados (b)	
Número de golpes por cara		50	75	75
Estabilidad mínima kilogramos	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo	450	700	700
Flujo milímetros	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo	2-4.5	2-4.0	2-4.0
Por ciento de vacíos en la mezcla, respecto al volumen del espécimen (1b)	Para carpetas y mezclas de renivelación para bases asfálticas	3-5 3-8	3-5 3-8	3-5 3-8
Por ciento de vacíos en el agregado mineral VAM, respecto al volumen del espécimen de mezclas, de acuerdo con el tamaño del material pétrico mínimo (b)	Para carpetas, capas de renivelación, bases asfálticas y bacheo. 4.76mm (No. 4) 6.35mm (1/4 " 9.51mm (3/8 " 12.7mm (1/2 " 19.0mm (3/4 " 25.4mm (1 ")	18 17 16 15 14 13	18 17 16 15 14 13	18 17 16 15 14 13

- a) Se consideran como vehículos pesados los autobuses, en todos sus tipos; y todos los camiones
- b) Los por cientos de vacíos de la mezcla y del material pétreo, respecto al volúmen del espécimen, deberá determinarse de acuerdo con otras normas.
- 2) Para el procedimiento de Hveem se debe considerar - el siguiente cuadro:

Características	Para carreteras		Para aeropistas	
	Tránsito diario en ambos sentidos para vehículos pesados (kg)		Aviones con peso total (toneladas)	
	de 1000 a 2000	Mas de 2000	Hasta 20	Mas de 20
Valor del establi lometro , mínimo	35	37	37	40
Expansión en mm., máxima	0.76	0.76	0.76	0.76
Por ciento de va cíos en la mez-- cla respecto al_ volúmen del espe cimen mínimo	4	4	4	4

- (a) Se consideran como vehículos pesados los camiones en todos sus tipos y los autobuses.
- (b) Las mezclas que se elaboren con asfaltos rebajados o emulsiones proyectadas de acuerdo con el procedimiento de pruebas de compresión sobre cilindros -- sin confinar , deberán cumplir para dicho objeto, con los requisitos fijados en el cuadro a continuación.

Las mezclas que se elaboren con emulsión asfáltica que no contengan disolventes, deberán cumplir con el inciso (a) antes mencionado, de acuerdo con el procedimiento utilizado y además, con los de por ciento de vacíos fijados en el inciso (b).

CARACTERISTICAS		PARA CARRETERAS			PARA AEROPUERTOS .		Observaciones
		Tránsito diario en ambos sentidos de vehículos pesados (b)			Peso de los vehículos que operen		
		Menos de 500	De 500 a 1000	Mas de 1000	Hasta 20 ton.	Mas de 20 ton.	
Resistencia mínima en Kg/cm ²		2.5	4	En general no debe usarse este tipo de mezclas	5.0	En general no debe usarse este tipo de mezclas	VALORES TENTATIVOS
Por ciento de vacíos mínimo (a)	Material de graduación gruesa o fina.	7	7		En general no debe usarse este tipo de mezclas		
	Materiales de graduación intermedia.	4	4				

- (a) El por ciento de vacíos especificado en cada caso, se calcula como se especifica mas adelante.
- (b) Se consideran vehículos pesados los camiones y autobuses en todos sus tipos.

Las condiciones para el uso adecuado de las mezclas asfálticas se indican a continuación:

a) Los contenidos de humedad y disolventes para el contenido y compactación de mezcla asfáltica, y el contenido de cemento asfáltico deberán quedar dentro de los límites fijados en el cuadro siguiente.

(1) Tolerancia del contenido de cemento asfáltico con respecto al por ciento de proyecto en peso.

(2) Contenido de agua libre permitido. Por ciento en peso de la mezcla asfáltica.

(3) Relación de disolventes a cemento asfáltico, en peso (Valor K).

Material asfáltico empleado en la elaboración de las -- (1) (2) (3) mezclas.			
Cemento asfáltico	± 5%	1	Cero
Asfalto rebajado	± 10%	1	0.05 a 0.08
Emulsión asfáltica con disolvente	± 10%	...	0.05 a 0.08
Emulsión asfáltica sin disolvente	± 10%	...	Cero

b) La temperatura del concreto asfáltico al iniciarse el acomodo, deberá ser de 100 a 110°C; en general la compactación de la carpeta deberá terminarse a una temperatura mínima de 70°C.

c) Los espesores compactos de las capas en relación con el tamaño máximo del material pétreo, deberán fijarse de acuerdo a lo indicado en el siguiente cuadro:

Tamaño máximo del material pétreo en mm.	Espesor compacto de las capas de carpeta en cm.	
	Mínimo	Máximo
4.76 (Núm. 4)	2.0	3.0
6.35 (1/4 ")	2.0	3.5
9.52 (3/8 ")	3.0	4.0
12.70 (1/2 ")	3.0	5.0
19.03 (3/4 ")	3.0	6.0
25.40 (1 ")	4.0	7.0

Los espesores máximos anotados, sólo son aplicables en el caso de que se utilicen mezclas en asfaltos rebajados o emulsiones con disolventes: de estos casos cuando el proyecto señale un espesor mayor, se deberán construir dos o mas capas.

d) La mezcla asfáltica deberá ser compactada al 95% mínimo de su peso volumétrico máximo, determinando en cada caso, de acuerdo con los métodos que fije SOP.

e) Las mezclas asfálticas deberán tener un valor de permeabilidad menor de 10%,

Para la fabricación de mortero asfáltico deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

(1) La curva granulométrica del material pétreo para morteros asfálticos deberá cumplir con lo que fije el proyecto en cada caso y deberá quedar comprendida dentro de la zona limitada por las dos curvas de la figura siguiente:

(2) Los materiales asfálticos deberán satisfacer las características que aquí se indican:

Cementos Asfálticos

Características	Cemento Asfáltico			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración 100g, 5s 25°C, grados.....	180-200	80-100	60-70	40-50
Viscosidad Saybolt-Fa- rol a 135°C, s, mínimo..	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa terminada de - cleveland), °C, mínimo..	220	232	232	232
Punto de reblandeci- miento, °C,	37-43	45-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm. mínimo	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada 50 cm. ³ , 5h, - 163 °C: penetración - retenida, por ciento - mínimo.....	40	50	54	58
Pérdida por calenta- miento, por ciento, - máximo	1.4	1.0	0.8	0.8

f) La emulsión asfáltica deberá reunir las característi-
cas indicadas recientemente relativas a las emulsiones de
rompimiento lento.

g) El agua que se utilice para dar la consistencia nece-
saria al mortero, deberá estar libre de materias extrañas
y de sales solubles en cantidades que resulten perjudicia-
les.

h) El mortero asfáltico deberá cumplir con los requisitos fijados en el siguiente cuadro, en cuanto a su proporcionamiento:

Componentes	Por ciento en peso (a)
Emulsión asfáltica de rompimiento lento.	18-25
Agua para dar la consistencia necesaria a la mezcla.	10-15

(a) Por ciento con respecto al peso seco del material pétreo. Las carpetas construídas por el sistema de riegos deberán tener un valor máximo de permeabilidad de -- 10%.

CAPITULO V

TEORIA Y EFECTO DE LA COMPACTACION

VIBRATORIA

V. TEORIA Y EFECTO DE LA COMPACTACION VIBRATORIA.

Conociendo el efecto de cada uno de sus parámetros, un rodillo vibratorio nos puede dar un efecto satisfactorio sobre superficies asfálticas y sus características técnicas seleccionadas correctamente.

V.1. EFECTO DE COMPACTACION DE LOS COMPACTADORES VIBRATORIOS.

Los compactadores vibratorios trabajan con una combinación de carga estática y carga dinámica. La vibración elimina en gran parte la fricción interna de la mezcla, creando condiciones mejores para su compactación. Por este motivo, también los compactadores vibratorios ligeros dan un buen efecto de compactación sobre las superficies asfálticas.

El efecto de compactación de los rodillos vibratorios, está determinado principalmente por los siguientes factores:

- a) Carga estática lineal.
- b) Número de rodillos vibratorios en el compactador.
- c) Número de pasadas.
- d) Frecuencia y amplitud.
- e) Velocidad del compactador.
- f) Relación entre los pesos del bastidor y del rodillo.
- g) Diámetro del rodillo.

Un aumento en la carga estática lineal de un compactador vibratorio, dará como consecuencia hasta un cierto límite de un aumento del efecto de compactación. Como resultado se tendrá una reducción en el número de pasadas.

Con dos rodillos vibratorios en tándem, un compacta-

dor dará el grado de compactación necesario en un menor número de pasadas que un compactador que tenga únicamente un rodillo vibratorio.

Los parámetros de vibración (frecuencia y amplitud), son siempre factores muy importantes en la compactación vibratoria. La experiencia adquirida en la compactación vibratoria de mezclas asfálticas, indica que se obtienen resultados muy buenos operando con frecuencias en el rango de 2000 a 3000 v.p.m. y amplitudes nominales en el orden de 0.4 a 0.8 mm.

Las propiedades de compactación de las mezclas asfálticas, dependen en gran proporción de la composición y temperatura de la mezcla. La tendencia hacia la construcción de carpetas asfálticas de mayor espesor, necesita disponer de compactadores capaces de compactar capas entre 2.5 y 30 cm. de espesor. Las capas mas gruesas requieren de efectos de compactación mayores que los que requieren las capas mas delgadas. Por lo tanto, en los compactadores vibratorios grandes, se requerirá la capacidad de poder variar a voluntad la intensidad de las vibraciones, siendo la mejor manera el variar la amplitud, ya que por una amplitud variable es posible utilizar una combinación favorable de alta frecuencia y baja amplitud para poder compactar fácilmente mezclas asfálticas tendidas en capas relativamente delgadas.

V.2.- RESULTADO DE PRUEBAS DE COMPACTACION.- La Universidad Tecnológica de Aachen de la República Federal Alemana hizo la primer prueba extensa de la compactación vibratoria de las mezclas de asfalto, los rodillos tándem vibratorios con peso de cuatro toneladas obtuvieron mejores resultados de compactación que un rodillo estático de tres ruedas y diez toneladas, particularmente despues de un número limitado de pasadas;

al mismo tiempo, en esta prueba la vibración no causó segregación de la mezcla asfáltica, pues la superficie tenía la misma apariencia despues de pasar el rodillo estático, como despues de la compactación vibratoria y el coeficiente de fricción fue el mismo en la superficie.

Los rodillos vibratorios se han usado con buenos resultados en los siguientes tipos de pavimento:

- 1) Capas de desgaste en asfalto de concreto con astillas prensadas, recubiertas, grosor de 2.5 a 4 cm.
- 2) Capas de desgaste de asfalto de concreto con bitumen rebajado, grosor de 2.5 a 4 cm.
- 3) Capas de ligazón de asfalto de concreto - grosor de 2.5 a 5 cm.
- 4) Capas de base bituminosa, grosor de 5 a 20 cm.
- 5) Asfaltos de pavimentos de profundidad total, grosor de 15 a 30 cm.
- 6) Arena estabilizada con bitumen, grosor de 20 a 30 cm.

En 1970 el Departamento de Investigación Dynapac, -- realizó amplias y extensas pruebas de compactación en mezclas asfálticas de 25 cm. de espesor, usando un rodillo tándem vibratorio de diez toneladas. Se obtuvieron las mas altas densidades a una profundidad de 8 a 16 cm., pero las diferencias en grado de compactación a diferentes profundidades fueron relativamente pequeñas. La prueba de compactación en pavimento de profundidad completa usando rodillo vibratorio de -- diez toneladas, se hizo por la Asociación de Constructores y Contratistas Suecos y el Consejo de Investiga

ción de Carreteras de Virginia. Las tres investiga--
ciones independientes, dieron los mismos resultados -
y el rodillo vibratorio pudo completar la compacta--
ción con menos pasadas que los rodillos estáticos.

Los rodillos vibratorios tándem pueden trabajar con -
un patrón simple de aplanado; se obtiene una compacta
ción uniforme y consecuentemente, densidad uniforme -
sobre todo lo ancho del pavimento. Cuando se compac-
ta con rodillo estático de tres ruedas, lo que requie
re de un mayor número de pasadas, será mas difícil --
mantener la trayectoria del patrón de compactación y
en práctica el grado de compactación, frecuentemente,
será mas alto en el centro de la vía que en las ori--
llas.

V.3. COMPACTACION DE JUNTAS.- Las juntas longitudinales -
con frecuencia son la parte mas débil de una mezcla -
asfáltica y es aquí donde el daño puede ocurrir mas -
fácilmente. Cuando la primera vía de asfalto es ex--
pandida y compactada, la compactación de la orilla se
realiza sin soporte lateral y como regla, la densidad
obtenida en la orilla libre es un poco mas baja que -
en el resto del revestimiento. Cuando se expande --
la vía adyacente, la mezcla tiene soporte lateral y -
esto la provee de mejores condiciones para obtener --
una buena compactación. Como resultado la distribu--
ción de densidades será desigual en una sección cruza
da a través de una unión.

La compactación vibratoria permite una buena unión y
cierre de uniones. Dos o mas compactadores se usan -
algunas veces en escalón para grandes trabajos y las
uniones pueden ser compactadas mientras esten calien-
tes, lo que es muy favorable en lo que respecta a ca-
lidad.

V.4.- MEDIDAS DE UNIFORMIDAD.- (Nivelación) La uniformidad de un revestimiento es en parte dependiente de la uniformidad de la base y en mucho del diseño de la pavimentadora y la forma en que ésta sea operada.

Con las pruebas de compactación de asfalto mezclado con lo anterior, las medidas de uniformidad se llevaron a cabo de acuerdo con el método descrito en Pruebas de Campo. Con los rodillos tándem vibratorios de 4 a 5 toneladas con un tambor vibratorio el máximo de las desviaciones en uniformidad fué de 4 a 5 cm.

Con las computadoras modernas y los nuevos tipos de rodillos tándem con vibración e impulsado en ambos tambores, el máximo de desviación en uniformidad es normalmente de 2 a 4 mm. en las capas de desgaste y ligantes. El sistema para usar impulso en ambos tambores resulta de aumentar la habilidad de producir una superficie nivelada.

V.5. - PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.- El grado de compactación y contenido de vacíos, son factores de importancia decisiva para la permeabilidad de una mezcla asfáltica. Se obtuvo baja permeabilidad a través de los rodillos vibratorios que con los rodillos de llantas neumáticas ó, con el procedimiento convencional, usando dos rodillos estáticos de rueda suave y un rodillo de rueda de neumático.

Para capas impermeables de asfalto de concreto en el lado corriente arriba de la tierra y presa de roca, el standard requerido de impermeabilidad es alto. Usualmente un máximo de contenido de aire de 3 a 4% se especifica. Los revestimientos de esta clase frecuentemente son compactados con rodillos vibratorios ligeros ó medio pesados.

CAPITULO VI

CAPACIDAD DE LOS COMPACTADORES Y COSTO UNITARIO
DE COMPACTACION

VI. CAPACIDAD DE LOS COMPACTADORES Y COSTO UNITARIO DE --
COMPACTACION.-

Conociendo la capacidad de compactación de un compactador y su funcionamiento, el deseo es, tratar de que rinda al máximo por lo cual, son muy importantes los cálculos de su capacidad de compactación, así, es posible conocer los costos de la compactación, a esto, se le agrega la adecuada selección del compactado de mezclas asfálticas, reiterando nuevamente el criterio de la elevada capacidad de compactación, y al conocer esta capacidad intentar un compactador por cada máquina terminadora.

En metros cuadrados por hora de la superficie compactada después de tendida, como en toneladas por hora de la mezcla asfáltica que fué compactada de acuerdo con el espesor de la capa, se mide la compactación; al mismo tiempo, se determinan los factores primordiales de la capacidad de compactación de los rodillos vibratorios (M2. / hora), que son: el ancho del rodillo, el número de pasadas y la velocidad del compactador. Sabiendo que el ancho compactado (A) en M2 / hora puede ser calculado por la siguiente fórmula:

$$A = C \frac{B \times V \times 1000}{n}$$

donde C es el factor de eficiencia, B es el ancho del tambor en metros, V la velocidad del compactador en kilómetros por hora, n es el número de pasadas y 1000 el factor de conversión, así tenemos como ejemplo:

Considerando tres pasadas con un rodillo de 84 pulg. de ancho de tambor, a una velocidad de 6 km./h., cuál será el ancho compactado.

B = 84" = 2.13 mts.

V = 6 Kms./h.

n = 3

C = 0.9 (considerando que hay traslape)

Solución: con la fórmula antes mencionada.

$$A = 0.9 \frac{(2.13) \cdot 6 \cdot (1000)}{3} = 3,734 \text{ M}^2 / \text{h.}$$

Debe considerarse que el traslape transversal o longitudinal de las vías y el rodamiento continuo son la capacidad que se puede alcanzar en la capacidad teórica, ya que la práctica y la teórica de rodamiento del asfalto están afectados por varios factores.

En los diagramas 6.1, 6.2 y 6.3, la eficiencia del factor C para los tres tipos de rodillos vibratorios tándem, puede leerse como una función de la amplitud del pavimentador y se han desarrollado bajo las siguientes suposiciones:

- 1.- Las pausas para tomar alimentos no están consideradas para una hora efectiva de trabajo, de lo cual se consideran diez minutos por hora para llenar de gasolina los tanques, pausas, etc., y los cincuenta minutos -- por hora restantes son de trabajo efectivo del rodillo.
- 2.- En un 10% el traslape longitudinal reduce el factor de eficiencia.
- 3.- La compactación de las juntas reduce el factor de eficiencia en un 5%.

4.- El traslape transversal entre las diferentes vías de rodamiento, varía de acuerdo a la amplitud del tambor. En cada caso particular se ajusta al ancho del pavimento, lo cual es evidente por las curvas de diente de tierra de los diagramas.

Todo hace suponer que el mínimo de traslape transversal ha sido de 15 mm.

Con respecto al número de pasadas que necesiten los estimados aproximativos pueden ser usados, como valores importantes, el factor de eficiencia 0.6 y como promedio de velocidad 6 km. por hora.

Pudiendo variar, dependiendo del lugar, el costo de compactación está en un rango de 2.5% del costo total del pavimento asfaltado.

Con respecto a los rodillos de compactación grande y medio grandes, los siguientes valores pueden servir como guía.

Capacidad de Compactación de diferentes Rodillos Vibratorios				
Tipo de Rodillo	Peso estático. Tons.	Ancho del Tambor M.	Capacidad Compactación Carpetas	Ton/h ----- Base.
Rodillo vibratorio con vibración en ambos tambores.	6	1.40	75-125	125-250
	10	1.68	100-200	200-400
	4	2.13	125-250	250-600

Ejemplo:

Determinar el rendimiento en ton./h del modelo ---
CA-25A (100 lb. por cm. de elevación por m² de su-
perficie).

Consideremos que el factor de cobertura es la veloci-
dad dividida entre el número de pases; el rendimiento
depende el alcance en m² por hora, del espesor de la
elevación compactada y de la eficiencia de operación.

Tabla A.-

Determine el factor de cobertura o eficiencia leyendo
del KPH hasta el número de pases.

Nota.- La velocidad dividida entre el número de pas-
ses es el factor de cobertura.

El rendimiento depende del alcance en m² por hora, --
del espesor de la elevación compactada y de la efi---
ciencia de operación.

TABLA A
Con un factor de cobertura con 50% de traslape

Velocidad	Número de pases					
KPH	2	3	4	5	8	10
1	0.25	0.16	0.12	0.08	0.06	0.05
2	0.50	0.33	0.25	0.16	0.12	0.10
3	0.75	0.50	0.37	0.25	0.18	0.15
4	1.00	0.66	0.50	0.33	0.25	0.20
5	1.25	0.83	0.62	0.41	0.31	0.25

Tabla B.-

Del factor de cobertura determinado, lea el espesor de la elevación compactada "especificada" para determinar el rendimiento en ton/hora.

Nota.- Rendimiento en ton/hora de pavimento asfaltado con 80% de eficiencia de operación y 50% de traslape.

El pavimento asfaltado pesa 100 lb. por centímetro de espesor de elevación por m² de superficie.

TABLA B

FACTOR DE COBERTURA O EFICIENCIA	ESPEJOR DE LA ELAVACION COMPACTADA EN CM.					
0.10	5.00	8.35	11.68	16.70	25.95	33.40
0.20	10.02	16.70	23.36	33.40	51.90	66.80
0.30	15.03	25.05	35.04	50.10	77.85	100.20
0.40	20.04	33.40	46.72	66.80	103.80	133.60
0.50	25.05	41.75	58.40	83.50	129.75	167.00
0.60	30.06	50.10	70.08	100.20	155.70	200.40
0.70	35.07	58.45	81.76	116.90	181.65	233.80
0.80	40.08	66.80	93.44	133.60	207.60	267.20
0.90	45.09	75.15	105.12	150.30	233.55	300.60
1.00	50.10	83.50	116.89	167.00	259.49	334.00

Nota.- Se debe ajustar el rendimiento para la variación de traslape, eficiencia y densidad de pavimento.

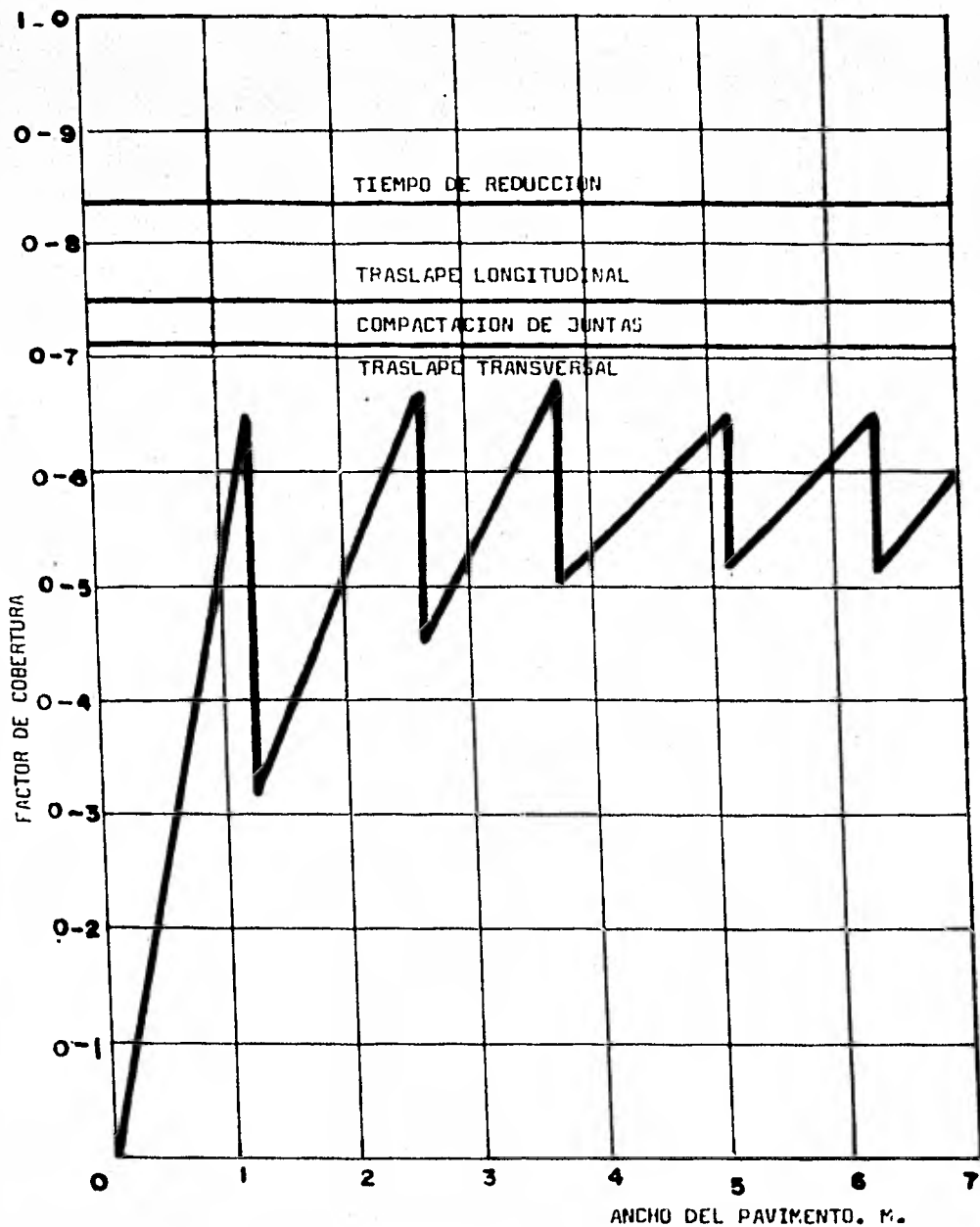


FIG. 6-1.- FACTOR DE COBERTURA vs PAVIMENTO.
 RODILLO VIBRATORIO DE 6 TONELADAS Y
 ANCHO DE TAMBOR DE 1.40 M.

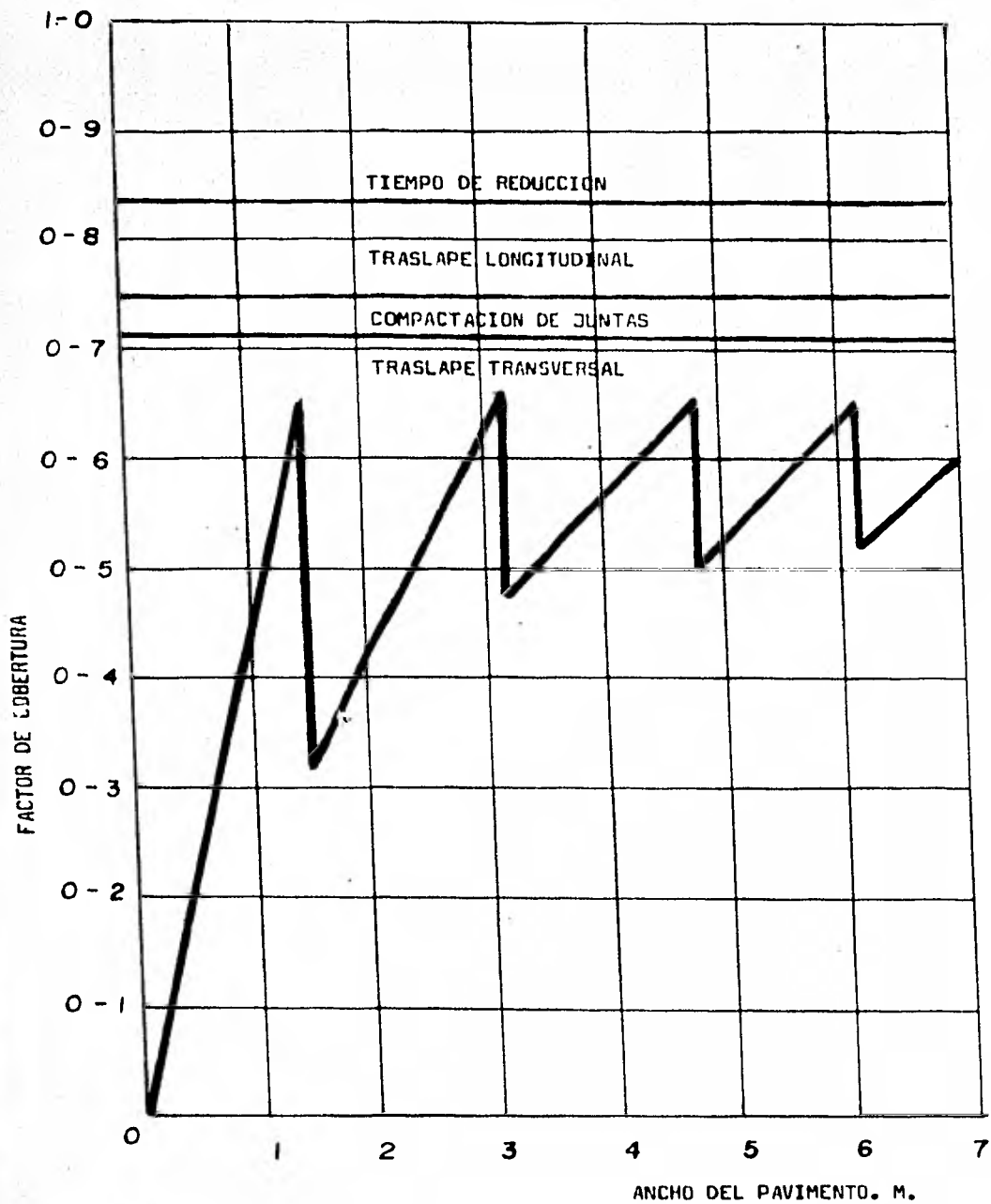


FIG. 6-2.- FACTOR DE COBERTURA vs PAVIMENTO.
 RODILLO VIBRATORIO DE 10 TONELADAS Y
 ANCHO DE TAMBOR DE 1.68 M.

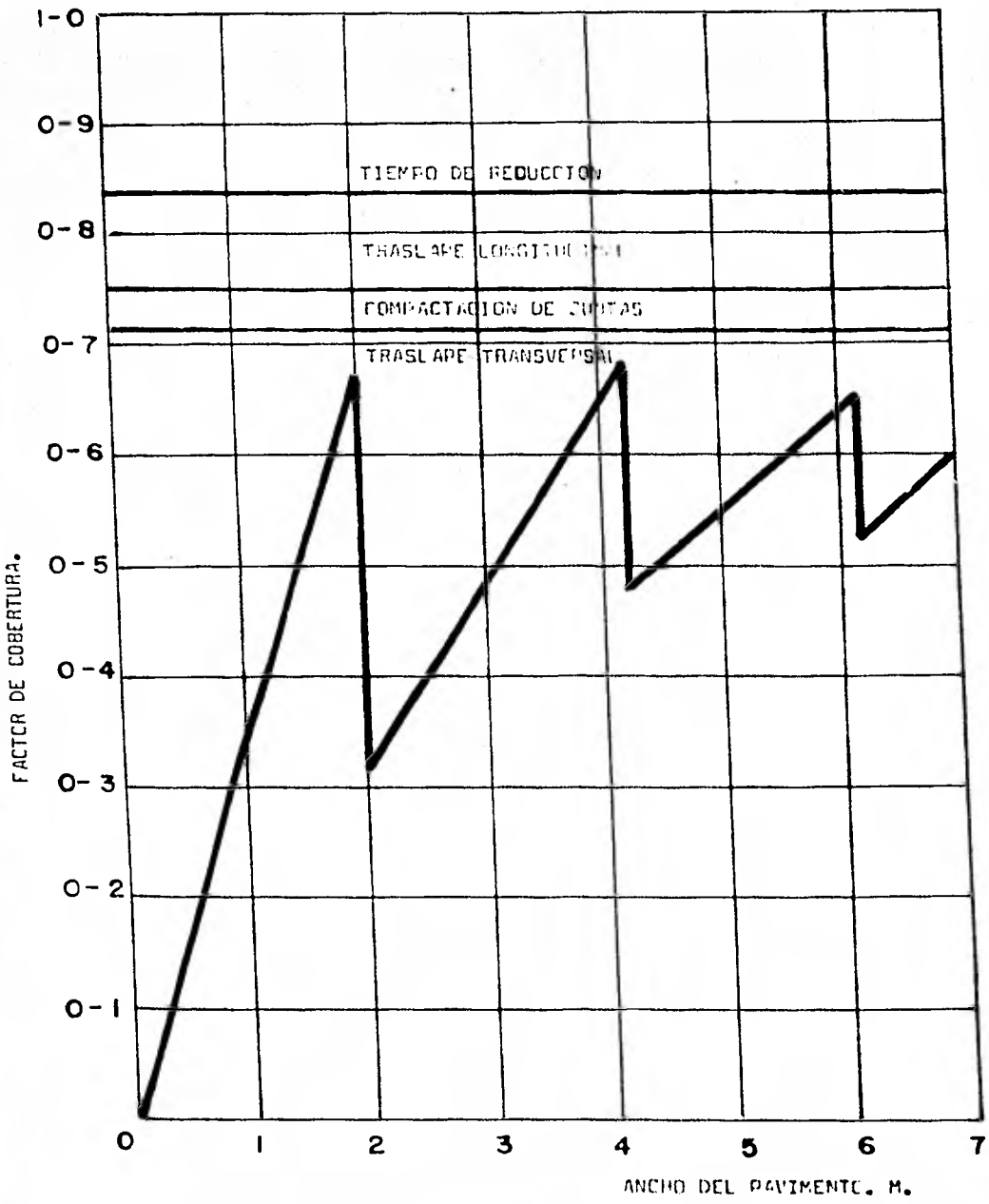


FIG. 6-3.- FACTOR DE COBERTURA vs. PAVIMENTO.
 RODILLO VIBRATORIO DE 14 TONELADAS Y
 ANCHO DE TAMBOR DE 2.13 M.

Fueron obtenidos para diferentes espesores de elevación y diferentes formas de eficiencia, mediante la fórmula siguiente, los Valores de Rendimiento de Compactación: $P = B \times C \times 1000 \times \text{Capacidad}$ por unidad de longitud x vuelta efectiva del tambor x eficiencia de operación.

Sabiendo que P = Rendimiento de compactación.
 B = Ancho del tambor en metros.
 C = Factor de eficiencia.
 1000 = Factor de conversión.

Ejemplo: Forma de obtener los Valores de la Tabla.

Datos:

Espesor de la elevación a compactar, tres centímetros.

Capacidad por unidad de longitud, para el modelo.

$$CA\ 25A = \frac{0.05\ \text{Ton.}}{2.54\ \text{cm.}} = 0.0196\ \text{Ton/cm.}$$

$$B = 84.2 = 2.13\ \text{m.}$$

$$C = 1.00$$

Vuelta efectiva del tambor 50%

Eficiencia de operación 80%

Solución: usando la fórmula antes mencionada tenemos:

$$P = 2.13 \times 1.00 \times 1000 \times 0.0196 \times 0.50 \times 0.80 = 16.69\ \text{ton/h. por centímetro de elevación.}$$

Para este caso el espesor de elevación a compactar es de tres centímetros, tenemos:

$$P = 16.69 \times 3 = 50.10\ \text{ton/h.}$$

Conociendo el rendimiento del compactador, -
y, sabiendo de antemano la cantidad por ---
compactar, podemos deducir el costo de dicha
compactación; el costo lo encontramos de la-
siguiente manera:

Máquina: Compactador Dynapac CA25A

Datos generales:

Precio de adquisición: \$1'354,000.00

Equipo adicional:

Valor inicial (Va): \$1'354,000.00

Valor de rescate (Vr): \$ 135,400.00 (10%)

Tasa de intereses (i): (14%)

Prima de seguros (s): (3%)

Vida económica (Ve): 3 años

Horas por año (Ha): 1200 Horas/año

Motor: CAT D 3145

Factor de operación: 0.7

Potencia de operación: 125HP u 2400 RPM

Coefficiente de almacenaje (K): 0.08

Factor de mantenimiento (Q): 1.00

1.- Cargos fijos

$$a) \text{ Depreciación } D = \frac{Va - Vr}{Ve} = \frac{1'354,000.00 - 135,400.00}{3,600}$$

$$D = \$ 338.50$$

$$\text{b) Inversión} \quad I = \frac{V_a + V_r}{2H_a} = \frac{\$1'354,000.00 + 135,400.00}{2(1200)} (0.14)$$

$$I = \$86.88$$

$$\text{c) Seguros} \quad S = \frac{V_a + V_r}{2H_a} = \frac{\$1'354,000.00 + 135,400.00}{2(1200)} (0.03)$$

$$S = \$18.61$$

$$\text{d) Almacenaje:} \quad A = KD = 0.08 \times 338.50 = \$27.08$$

$$\text{e) Manteni--} \\ \text{miento:} \quad M = QD = 1.0 \times 338.50 = \$338.50$$

Suma de cargos fijos por hora \$809.57

II Consumos

$$\text{a) Combustible} \quad E = ePc \\ \text{diesel} \quad E = 0.20 \times 125\text{HP} \times 0.80/\text{lt.} = \$20.00 \\ \text{gasolina} \quad E = 0.24 \times \quad \times / \text{lt} \quad \$$$

b) Otras fuentes de energía:

$$\text{c) Lubricantes} = L = aPc \\ \text{capacidad del carter:} \quad c = 36 \text{ lts.} \\ \text{cambio de aceite:} \quad t = 100 \text{ hr.}$$

$$a \text{ c/t} \times \frac{0.0035}{0.0030} \times 125 \text{ HP} \times 0.7975 \text{ lt/hr.}$$

$$L = 0.7975 \text{ lt/hr.} \times \$27.00/\text{hr.} = \$21.53$$

$$\text{d) Llantas} \quad L_l = \frac{V_l}{H_v} \quad \left(\frac{\text{valor de las llantas}}{\text{vida económica}} \right)$$

vida económica = Hv = \$ /hr.

L1 = \$ /horas

Suma de consumo por hora = \$ 41.53

III.- Operación

Salarios: S

Operador: \$ 283.95

salario/turno-promedio: \$ 283.95

horas turno-promedio: (H)

H = 8 horas x 0.75 (factor de rendimiento de
6 horas)

Operación $O = \frac{S}{H} = \frac{\$283.95}{6} = \$47.33$

\$ 47.33

Costo Directo Hora - Máquina = \$898.43

El valor que acabamos de obtener afectado por -
las horas que trabaje la máquina -6 máquinas--
nos dá el costo de la compactación de la mezcla
apegados a las especificaciones.

Veamos el procedimiento que marca 6 muestra Barber -- Greene para calcular el costo de una compactación. - Hay pequeñas diferencias al sistema empleado por nosotros.

Ejemplo.- Partiendo de que la información fué obtenida de los planos y especificaciones de una sección de camino, este es el resultado:

Base de Concreto Asfáltico: 8 pulg. de espesor
Tendido Asfáltico: 2 pulg. de espesor
entre base y superficie.

Antes de examinar estos puntos, el contratista lo obtuvo de la información desarrollada de la sección de pavimento:

Base de Concreto Asfáltico: \$12.50 por ton.
Tendido Asfáltico: \$16.75 por ton.
Cemento asfáltico para los tendidos de pavimento: \$67.00 por ton.
Costo por maniobra: \$83.00 por ton.

Los factores se seleccionaron para el costo de cada uno de ellos, correspondiéndoles precios unitarios especificados en cada uno de ellos.

BASE DE CONCRETO ASFALTICO

Concreto asfáltico = \$ 12.50 por ton.x8 pulg.x0.0544
\$ 5.44 por yd²

Cemento asfáltico = \$67.00 por ton. x 8 pulg. x 0.0027

\$ 1.45 por yd²

Total para la base de concreto asfáltico = \$ 6.89 -
por yd²

Costo unitario por maniobra \$ 83.00 x 0.0002

\$ 0.02 por yd²

TENDIDO DE LA CARPETA ASFALTICA

Carpeta asfáltica: \$16.75 por ton. x 0.0026 x 2 pulg
espesor.

= \$ 0.25 yd²

Total para el tendido de una carpeta asfáltica =
= \$2.11 yd²

Total para una sección de carpeta de pavimento asfál
tico =

= 9.02 yd²

Supongamos que una carpeta asfáltica típica tuvo un
contenido de asfalto del 6.5% que es mayor del 5% --
considerado para el uso de estos factores. Los fac
tores para el pago de una carpeta asfáltica, deberán
cambiar los factores de el contenido, por lo que la
carpeta asfáltica deberá calcularse de la siguiente
manera:

$$M = \frac{0.75 \times 6.5 \times 140}{2000 \times 100} = 0.0034$$

El costo para el contenido asfáltico para la carpeta-
deberá ser entonces: \$67.00 por ton. x 0.0034 x 2 -
= \$0.46 yd²

Estos aspectos del costo total para una carpeta asfál-
tica a \$2.22 yd² en el ejemplo anterior ó a \$9.13 -
yd² para una sección total pavimentada.

CAPITULO VII

APLICACIONES PRINCIPALES

VII. APLICACIONES PRINCIPALES

Muchas de las obras de ingeniería civil están relacionadas con el asfalto, esto es, son muchos los usos -- que se le dan a las mezclas asfálticas en la vida diaria, en todo el mundo, como son: las carreteras y calles, las banquetas, estacionamientos y patios, las -- aeropistas, los revestimientos de presas y canales, -- así como la reparación de lo antes mencionado, y otros que también son de utilidad pero menos comunes, como las canchas de tenis, las cimentaciones de edificios, etc., a lo cual se pretende optimizar día con día, -- tanto en rendimiento como en construcción.

En la construcción los ingenieros tienen como meta -- programar el trabajo, economizando al máximo, lo que significa que la maquinaria, los materiales y la mano de obra rindan el trabajo esperado.

La compactación de mezclas asfálticas se logra fácilmente cuando se lleve a cabo a la temperatura adecuada, ésta debe iniciarse tan pronto como sea posible -- después de extendida la mezcla. El espesor de la -- carpeta influye en el grado de dificultad que encontremos para compactarla; entre más delgado sea el espesor, más pronto pierde temperatura y por lo tanto -- la compactación debe efectuarse inmediatamente después del extendido. En cambio, si el espesor es de 7 cm. -- ó más, la pérdida de temperatura es más tardada, proporcionando mayor tiempo para compactar. También en el número de máquinas que se requieren para compactar la mezcla, interviene el espesor de la carpeta, pues, entre más delgado sea esto, mayor es el avance longitudinal de la extendidora. Como la velocidad de los-

compactadores es limitada, necesariamente hacen falta en mayor número.

El equipo que tradicionalmente se empleaba para la compactación de la mezcla es:

- a) La plancha metálica de tres llantas lastrables, con peso de 10 a 14 ton.
- b) El compactador autopropulsado de 9 u 11 llantas neumáticas de peso variable.
- c) Plancha de 2 y de 3 ejes en tándem, su peso varía de 6 a 20 ton.

La operación de compactación con estos compactadores se puede dividir en tres fases:

1. El planchado inicial. El mayor peso de las llantas motrices y su gran diámetro incrustan la mezcla hacia abajo sin desplazarla. Durante esta fase se debe lograr casi totalmente la compactación. Se aplica el patrón de planchado mas conveniente, según el ancho del equipo disponible procurando siempre cubrir la superficie extendida lo mas uniformemente posible.

2. El planchado intermedio. Esta segunda fase se efectúa lo mas cercanamente posible a la primera, mientras la mezcla asfáltica mantiene algo de su plasticidad y temperatura. Aquí las compactadoras tienen la tendencia a "cerrar" la superficie y, por lo tanto, contribuyen a la impermeabilidad de la carpeta y acomodan las partículas de los agregados por lo que aumentan la estabilidad. Esta fase no incre-

menta notablemente la densidad lograda por la plancha metálica, pero aporta seguridad contra deformaciones-bajo condiciones severas de tránsito.

3. El planchado final. Su única finalidad consiste en borrar las huellas del equipo que trabajó en las fases 1 y 2.

Hace algunos años se empezó a aplicar, para compactar mezclas asfálticas, el equipo autopulsado vibratorio, sobre todo el que está dotado de algún mecanismo que disminuye la amplitud de la vibración para reducir la fuerza aplicada sin variar la frecuencia. Esto proporciona la posibilidad de efectuar las tres fases de compactación en una sola. Cada mezcla es, en algo, única y diferente a las demás, por lo que es necesario determinar en cada caso la forma o patrón de compactación, mediante vibradores. Estos pueden ser de un tambor liso metálico propulsado por llantas neumáticas o de dos tambores o rodillos con tracción en ambos.

Se han empleado compactadores vibratorios Dynapac CA 25A para compactar mezclas asfálticas, obteniendo resultados satisfactorios, ya que se ha logrado, en casi todos los casos, substituir dos o mas máquinas con un solo vibrador. La secuela de compactación que generalmente se emplea es la siguiente:

i) Una pasada, a todo lo ancho, sin vibración. Esta se efectúa inmediatamente después del extendido en carpetas delgadas hasta 5 cm. En carpetas mas gruesas hay que esperar un poco, sin que se pueda establecer una receta, usualmente, 60 metros atrás de la extendedora.

ii) Inmediatamente después, se inicia la vibración de 2400 r.p.m. en baja amplitud. Aquí es muy importante determinar la velocidad lineal del compactador. Debe ser tal que no provoque grietas ni bordes, o sea, ni tan despacio que estemos aplicando demasiados golpes muy cercanos unos a otros, ni tan de prisa que espaciamos demasiado la aplicación de la fuerza provocando grietas. También esta es una determinación práctica, producto de varias pruebas que se hacen al iniciar un trabajo. Por lo general es suficiente con dos pasadas a todo lo ancho y otra en alta amplitud para obtener el grado de compactación deseado.

iii) Si acaso es necesario, se retrasa el compactador para borrar alguna huella y dar el acabado final.

La compactación por vibración puede ser efectiva aún estando la mezcla a una temperatura tan baja que sería inoperante el equipo de tipo estático, lo que permite emplear durante más tiempo el equipo y, usar menos máquinas.

En cuanto a la elección del equipo, es muy conveniente antes de tomar una decisión, observar detenidamente los compactadores vibratorios porque, tomando en cuenta la administración eficiente del conjunto, la máxima economía se logra, generalmente, empleando el menor número posible de máquinas; naturalmente, teniendo a la vista el resultado final que es la construcción de carpetas de alta calidad.

SELECCION DEL EQUIPO DE COMPACTACION.- Veamos algunas ideas sobre los métodos que se han empleado en la selección del tipo de máquinas compactadoras, que se cree mas conveniente, para conjugar factores de inversión, producción, movilidad, eficiencia, disponibilidad de refacciones y servicios.

Debemos tener en mente que, en la construcción pesada, la inversión en equipo es cuantiosa y que éste se adquiere usualmente fuera del país, por lo que es muy importante pensar cuidadosamente todas las posibilidades para poder escoger la máquina mas eficiente; esto es, el menor número posible de unidades para un trabajo determinado.

La vida útil de los pavimentos depende, primordialmente de un drenaje bien proyectado y de la estabilidad, ya que en esta intervienen, de manera importante, el grado de compactación a que fue sometido.

Compactación es la densificación artificial de los suelos mediante la aplicación de presiones que expulsan al aire y el agua. Las especificaciones de compactación las fija el proyectista de la obra, solicitando el grado de compactación deseado, expresado como un porcentaje del peso volumétrico seco máximo.

La compactación se logra en el campo mediante máquinas que aplican cuatro tipos de fuerza en los suelos: presión, vibración, impacto y manipulación. La presión es producto de una fuerza vertical aplicada por el compactador. La compactación por impacto y vibración se logra a través de una serie de golpes. Habría que considerarlos como dos tipos de fuerzas compactivas que están íntimamente ligadas. General-

mente se estima que las fuerzas que se aplican por impacto, están en frecuencias de 50 a 600 golpes por minuto. Los compactadores vibratorios usualmente operan a frecuencias que pueden ir de 900 a 2400 vibraciones por minuto. Las fuerzas empleadas son, también, de impacto, aunque a velocidades mucho más altas.

Las vibraciones son producidas por pesos fuera de centro (excéntricas) en una flecha de rotación. La velocidad de giro de la flecha determina la frecuencia (número de impactos ó vibraciones por minuto). El peso de los excéntricos, su distancia de la flecha y el peso del tambor determina la amplitud.

Para cada tipo de material se debe estudiar, mediante pruebas en el campo, cuál es la mejor relación-velocidad de translación/frecuencia/amplitud para que la compactación se logre económicamente y con la calidad exigida.

La compactación mediante vibración también se ha popularizado, debido a que los fabricantes están ofreciendo equipo autopropulsado muy maniobrable que además aplica una fuerza considerable. La frecuencia de vibrado de estas máquinas suele andar entre 1500 y 2400 rpm. La densidad del material se logra de abajo hacia arriba, pudiéndose compactar capas gruesas. Este tipo de compactador está dotado de tracción en el tambor que lo hace muy maniobrable en lugares de difícil acceso.

Las consideraciones que solemos hacer para decidir que máquina compactadora es la más adecuada al trabajo, se inician por la determinación de producciones-

para un trabajo determinado. Del plazo de ejecución depende el número de unidades de carga y acarreo de los materiales a emplear; el número de ellas nos dará la producción diaria y horario, ó sea, el volúmen que estamos obligados a compactar. Con estos datos iniciales determinamos que número de máquinas son capaces de desarrollar el trabajo y que ayuda de equipo adicional es necesario; para esto es fundamental la experiencia y la observación detallada y prolongada del equipo en cuestión en donde éste se haya empleado. Con los precios de adquisición y otros datos del fabricante y del lugar donde se usarán, se calculan los costos horarios de cada tipo de máquina. El costo comparativo será el que nos indique la relación costo horario, rendimiento esperado.

De la comparación de los costos probables que arrojan estos cálculos, al menor de ellos debe sujetársele a otras consideraciones. Una de ellas es su transportabilidad, rápida y económica, pues no debemos olvidar que se cambiará continuamente de lugar de trabajo. Otra, muy importante y en algunos casos decisiva es la capacidad del fabricante a través de su representante de proporcionar servicio y refacciones.

La decisión final es el resultado de las consideraciones que se han mencionado aunque hay otra muy importante que es el número de máquinas que se deben adquirir, esto es, una sola capaz de ejecutar el trabajo programado, o bien dos o mas que juntas produzcan lo mismo, vale la pena pensar en la flexibilidad que nos proporciona el contar con máquinas mas chicas que separadas nos pueden permitir la posibilidad de llevar a cabo en el futuro trabajos diferentes y mas pequeños económicamente.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES GENERALES

CONCLUSIONES GENERALES

Como hemos visto, la compactación incluye considerablemente para las propiedades de los pavimentos asfálticos y recientemente aumenta la atención y empleo de la compactación vibratoria para las mezclas asfálticas.

Ha tenido varias razones por las que aumenta su aceptación en todo el mundo y éstas son las siguientes:

- i) La vibración proporciona un grado mas alto de compactación, lo que conduce a un pavimento de alta calidad.
- ii) Los compactadores vibratorios tienen una capacidad mas alta, esto es, compactan con menor número de pasadas y en la gran mayoría de las ocasiones sustituye a dos o mas compactadores estáticos.
- iii) Su diseño es muy versátil en lo que se refiere a su capacidad de compactación, eficiente para las capas de asfalto y tipos de mezclas asfálticas.
- iiii) La vibración asegura una buena compactación y liga de juntas de construcción.

Las características antes mencionadas se relacionan con el costo considerablemente, razón por lo cual podemos asegurar que la compactación vibratoria satisface el aspecto económico mas que la compactación estática; sabiendo además, que existe un método de diseño de las superficies asfálticas, un equipo de construcción, etc., que también contribuyen a la economía.

R E F E R E N C I A S

- 11) Diversos Equipos de Compactación y su Empleo
Ing. Conrado Luher Dorantes

- 12) Series educacionales
Asphalt Institute
Asphalt Technology and Construction
Guia de Instructor

- 13) Principles of the Asphalt Finisher
Barber Greenc

- 14) Vibratory Asphalt Compactation
Lars Forsblad and Stefan Gessler

- 15) Folletos de Dynapac
Dynapac L. T. D.